FONDO PIZZOFALCONE

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XXIV

Palchetto

Num.° d' ordine

R. BIBLIOTECA NAZIONALE VITT EM III
B. Prov.
I
1578
NAPOLI

Digitized by Google

B. Prov.
I
1578-79

Digitized by Google

Digitized by Google

ELEMENTI DI FISICA

Digitized by Google

Digitized by Google

607767 SBN

ELEMENTI DI FISICA

AD USO

DEI COLLEGI NAZIONALI E DEI LICEI

pel corso filosofico

DI

GIANALESSANDRO MAJOCCHI

MEMBRO CORRISPONDENTE DELLE REALI ACCADEMIE DELLE SCIENZE DI TORINO E DI PADOVA, DELLA R. PONTANIANA DI NAPOLI E DELLA VALLE TIBERINA TOSCANA, DI QUELLE D'AREZZO E DI PERUGIA, DELL'ISTITUTO DI BOLOGNA, DELLA R. ACCADEMIA DI BELLE ARTI DI FIRENZE, DELLA SOCIETA' INDUSTRIALE D'ANGERS E DELL'ACCADEMIA DI NIMES IN FRANCIA, DEGLI ATENEI DI VENEZIA, DI BRESCIA ECC., DOTTORE DELLA FACOLTA' FISICO-MATEMATICA, GIA' PROFESSORE DI FISICA E MECANICA ED ISPETTORE PROVINCIALE DELLE S. E. NEL LOMBARDO-VENETO, ATTUALE PROFESSORE SOSTITUITO DI FISICA NELLA R. UNIVERSITA' DI TORINO.

TOMO PRIMO.

TORINO
CUGINI POMBA E COMP. EDITORI.
1850.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Stamperia sociale degli Artisti tipografi.

Digitized by Google

PREFAZIONE.

Lo studio della fisica appartiene all'ultimo anno del corso di ogni istituto filosofico, ed ha per precipuo scopo l'insegnamento delle leggi della natura materiale e dei fenomeni dell'universo sensibile ad un gran numero di giovani, che poscia sono diretti a diverse discipline e s'incamminano per differenti carriere. Il giovane infatti, appena compiuto il corso filosofico, o si dedica allo studio della giurisprudenza, o a quello della medicina e della chirurgia, o all'altro dell'Ingegnere e dell'agrimensore, o si applica alla teologia; oppure si dà al commercio ed al traffico; o ritorna in seno della famiglia per attendere agli affari domestici; o apprende qualche industria particolare; o percorre una certa classe d'impieghi negli uffici dell'amministrazione dello Stato, e nelle aziende di alcuni stabilimenti; o prosegue infine in istudi speciali per consacrarsi come precettore alla pubblica istruzione. Il libro adunque destinato all'istruzione della fisica pel corso filosofico deve aver di mira l'insegnamento della scienza in una classe così variata d'individui per metterli in istato di saper apprezzare gli effetti degli agenti della natura e per fornirli delle cognizioni necessarie a giudicare dei fenomeni, che si presentano sulla terra, nell'atmosfera e nel firmamento; per conoscere quelle dottrine che possono loro servire di guida nelle diverse circostanze e per dare il giusto valore a diversi avvenimenti artificiali o naturali,

Digitized by Google

sbandendo i pregiudizi e le superstizioni, che tanto riescono nocevoli al regolare andamento della machina sociale. Insomma al giovane, che frequenta la scuola di fisica, importa d'essere istruito sugli effetti delle forze naturali; di rendersi famigliari quelle cognizioni, quelle leggi della materia e dei corpi, quelle dottrine dipendenti dall'osservazione e dall'esperienza, che interessano la sua compiuta educazione, per non essere sorpreso nel mondo sensibile dai fenomeni spontanei e dagli effetti dell'arte, e saperne applicare al bisogno le leggi nel corso della vita e nel cammino che è destinato a percorrere.

Chi desidera addentrarsi in qualche ramo speciale della scienza ed intraprendere egli stesso delle nuove indagini dirette all'avanzamento della medesima, converrà che esamini nelle collezioni speciali le memorie, le dissertazioni e gli scritti intorno a quella parte della fisica, e colle dottrine fondamentali apprese in questo *Corso* od *Elementi* egli potrà inoltrarsi in istudii più speculativi e razionali per aspirare anche esso all'onore d'essere collocato nel novero di coloro, che in diverse maniere contribuirono ai progressi della scienza. Se il libro quindi pel corso filosofico si estendesse soltanto allo sviluppo d'un ramo particolare della scienza, a detrimento degli altri rami, non conseguirebbe lo scopo cui è destinato. I libri di fisica per le scuole, che sono scritti senza aver riguardo alle diverse categorie di giovani pei quali devono servire, potranno al più essere reputati ottimi *trattati speciali* di qualche ramo della scienza, piuttosto che il Corso della medesima ad uso della gioventù, che frequenta i Collegi nazionali ed i Licei. L'uno, per esempio, si estende oltremodo nell'elettricità, lasciando imperfetti i diversi altri trattati delle proprietà dei corpi e degli agenti che scuotono la materia; un secondo presenta un'estesa esposizione dell'ottica, diffondendosi in parecchie dottrine astratte che non trovano veruna applicazione, limitandosi nel resto a semplici cenni generali; un terzo si occupa

di molti calcoli e fa un libro di matematica razionale con deduzioni geometriche, che a nulla servono per l'istruzione generale, trascurando la parte sperimentale che è la più importante per acquistare la vera conoscenza degli effetti e dei fenomeni che presenta la natura materiale; un quarto si allarga intorno alla chimica a detrimento della fisica, non limitandosi a quelle nozioni, sull'indole dei corpi, necessarie allo studio della nostra scienza. Questi libri possono essere pregievoli in se stessi e servono per coloro, che si applicano a qualche ramo speciale della fisica; ma certamente essi non raggiungono lo scopo prefisso all'istruzione generale per ogni classe di studiosi e non tendono in verun modo a quel fine cui sono destinati. In un libro elementare di fisica dunque, scritto pel corso filosofico, si devono dare i principii fondamentali della scienza; descrivere circostanziatamente i fatti più importanti, cui si rannodano come ad un centro diversi fenomeni; far conoscere le sperienze e le osservazioni, che servono a stabilire le leggi ed a fare scaturire le teoriche contemplatrici dell'avvenire; sviluppare quelle dottrine scientifiche che più interessano la comune degli uomini, corredandole di esempi e di fatti tratti dalla natura e dalle arti e mostrando come negli accidenti i più comuni stanno scolpite le eterne leggi imposte dal Creatore alla materia: e tutto ciò senza trascendere in isterili discussioni, in indagini puramente speculative e in digressioni meramente razionali, che possono soltanto riuscire di qualche interesse per la generalità della scienza senza essere di vantaggio nell'uso e nel sapere comune ad ogni uomo colto ed educato.

Si presentano all'uomo un gran numero di fenomeni, una moltitudine di effetti, ch'egli vede ed osserva ogni giorno senza averne un'idea chiara, senza comprendere come si collegano coi principii della scienza ch'egli ha studiato o per meglio dire che ha dovuto studiare nella gioventù durante il corso della sua educazione intellettuale. Ve ne sono parecchi altri

che si possono attignere nel gran laboratorio della natura e nelle officine delle arti, dei quali s'ignora dai più come dipendono dai medesimi principii. Ma questo gran numero di fatti altro non sono che corollari, che immediate conseguenze di alcune leggi semplici, e di qualche verità d'una generalità sublime, che si sono rinvenute coi metodi scientifici e che possono sotto tale aspetto essere poste alla portata della comune intelligenza. È questo il vantaggio della scienza, che innalza le intere generazioni all'altezza degli uomini di genio da cui furono precedute, e le cui scoperte ed invenzioni, frutti di lunghe e faticose indagini, si trasfondono nella massa delle popolazioni come un'eredità senza però perdere del loro valore nel dividersi su d'un gran numero di persone.

La scienza non consiste nella descrizione enumerativa dei fatti, ma la sua essenza sta nella ricerca di causalità. Alcuni fontanieri di Firenze trovarono che l'acqua nei tubi delle trombe aspiranti non s'innalza al di là d'una certa altezza, di 10 metri. Ma che sarebbe questo fatto, d'altronde importante, senza conoscerne la causa? Torricelli la scoprì e la dimostrò con un esperimento, stabilendo un principio generale, per cui la fisica si presentò sotto un nuovo aspetto in un gran numero di fenomeni e prese una nuova direzione. Una volta che le cause, che le forze siano scoperte, si possono col calcolo ottenere nuovi risultamenti, rinvenire nuove combinazioni. Bisogna però prima scoprire quelle cause e quelle forze, e le circostanze per cui nascono e si sviluppano; ed è per tale ragione che nella filosofia naturale, ad ogni altra lucubrazione, deve andar innanzi l'osservazione e l'esperienza, e devono venire dappoi le deduzioni col calcolo. Se fra il gran numero d'uomini, che hanno fatto gli studi della fisica, alcuni si fossero abituati a ben comprendere i vincoli che legano i fatti alle loro cause, si avrebbero nelle popolazioni degli ingegni, che in alcune circostanze potrebbero essere utili alla scienza e diventare, senza avveder-

sene, autori di qualche interessante ritrovato. Rammentiamo che, alla vista delle oscillazioni della lampada nel duomo di Pisa, Galilei concepì l'idea del pendolo per l'esatta misura del tempo; che un trastullo della fanciullezza, le bolle di sapone, ha risvegliato nella mente di Newton uno dei più fecondi principii sperimentali d'ottica; che il cervo volante, trattenimento della svelta gioventù, ha suggerito a Franklin il mezzo per condurre dalle nubi sulla terra la folgore terribile, e mostrare com'essa altro non sia che un ammasso di quel fluido che si sviluppa dalle nostre machine elettriche; e che infine Volta dal volgare sperimento, per produrre sulla lingua il sapor acidulo, è stato condotto ad interpretare sotto il loro vero punto di vista i mirabili fenomeni di Galvani ed a metterlo sulla via per giungere all'invenzione del suo famoso piliere.

Egli è per ciò che ad ogni principio teorico, ad ogni legge scientifica, si è aggiunto in questi *Elementi* un numero più o meno grande di fatti, di fenomeni, di effetti svariati, che tutto giorno si osservano nel mondo materiale. Il giovane quindi prova una certa compiacenza nel vedere come le cause, da cui dipendono, si attengono alla scienza, della quale ha intrapreso lo studio. In tal modo egli, riconoscendo con quelle applicazioni l'utilità dei principii appresi e delle leggi spiegate, prenderà maggior fervore nello studio e non resterà abbattuto da quella sterilità scientifica, che gli recide i nervi dell'intelligenza e lo priva d'ogni volontà per lo studio, essendo soltanto obbligato ad apprendere machinalmente quelle verità necessarie per adempiere all'obbligo degli esami. Nel *Corso elementare*, che presentiamo al colto pubblico, si contengono le dottrine fondamentali della fisica, stabilite all'appoggio dell'osservazione, dell'esperienza e dell'induzione, ed ampliate col sussidio delle prime operazioni del calcolo, tralasciando tutto ciò che si riduce ad investigazioni metafisiche, a considerazioni razionali che ci involvono in complicazioni di poca importanza per la parte po-

sitiva della scienza e di niun'applicazione immediata ai bisogni della società ed alla pratica della vita. All'incontro vi ha un gran corredo d'applicazioni, che illuminano il giovane studioso sulle dottrine apprese e gli risvegliano un gran amore per la scienza. Questi esempi pratici dei principii teoretici sono il frutto di parecchi anni d'osservazione e d'insegnamento, ed è principalmente per essi che il nostro libro differisce dai trattati sinora conosciuti, e si distingue dalle altre istituzioni consimili comparse in Italia e presso le estere nazioni.

In quanto al piano o all'ordine seguìto nella distribuzione delle materie, esso è il frutto delle meditazioni e dell'esperienza, che ho fatto nel corso di parecchi anni di pubblico insegnamento in uno dei più frequentati istituti filosofici d'Italia (1). Lo stesso si dica del metodo, con cui deve essere trattata la scienza; il quale viene suggerito dalla ragione e dalla filosofia e sanzionato dalla pratica, come quella che può additare la vera maniera di agevolare l'istruzione e renderla proficua al maggior numero di studiosi. Anzi intorno a questo argomento importa di notare che la fisica delle sostanze imponderabili nel presente secolo si è sempre più ampliata per nuove scoperte, per nuovi ritrovati, per nuove dottrine, presentando un gran numero di fenomeni e di fatti più o meno importanti. A misura quindi che la fisica delle sostanze imponderabili s'ingrandiva, gli scrittori dei *Corsi elementari* della scienza restringevano sempre più quella delle materie ponderabili, e giunsero da alcuni anni perfino ad escluderle dalla fisica particolare, riducendole nella fisica generale a nozioni compendiate, a semplici cenni. In tal modo la fisica particolare dei corpi ponderabili venne ristretta a pochi principii generali, tralasciandosi molti fatti importanti

(1) In esso si contavano ogni anno da 170 a 190 scolari inscritti per gli studi d'obbligo, oltre ai semplici uditori che intervenivano alle lezioni giornaliere.

che sono comuni negli eventi dell'universo sensibile e che si presentano in un gran numero di casi e di circostanze, e prendono gran parte nei nostri usi e bisogni, nei fenomeni più comuni e negli effetti più frequenti che tuttodì osserviamo. Il giovine studioso restava così privo di molte cognizioni utili ed interessanti le sue occupazioni avvenire. Ho creduto pertanto di rimettere i corpi ponderabili nel loro primitivo posto, senza però scemare l'importanza delle dottrine spettanti alle sostanze imponderabili in quella parte che interessa lo scopo dei nostri *Elementi*. A norma di tali riflessioni la scienza nel nostro libro, oltre un'*introduzione*, comprende tre parti: nella prima si parla della *fisica generale* con tutte quelle applicazioni immediate dei principii stabiliti, che possono riuscire utili all'uomo; la seconda si aggira sulla *fisica particolare* dei corpi ponderabili e delle sostanze imponderabili corredate pure di parecchie applicazioni utili agli usi ed ai bisogni sociali; la terza infine tratta della *fisica cosmologica*, cioè dei grandi fenomeni che avvengono sulla terra, nell'atmosfera e negli spazii del firmamento, fenomeni che dipendono dai principii stabiliti nelle due precedenti parti. La fisica generale poi colla fisica particolare delle materie ponderabili formano questo primo tomo; la fisica particolare delle sostanze imponderabili colla fisica cosmologica ne costituiscono il secondo.

La natura è una miniera inesauribile, dove stanno ancor nascosti molti tesori della scienza; essa presenta di continuo ai dotti il campo per nuova messe e nuove investigazioni. D'altronde le leggi della fisica non sono ancora tutte conosciute e ben definite. Egli è per ciò che ogni giorno si va in cerca con l'esperienza e coll'osservazione di nuove verità e di nuovi fenomeni, cimentando in differenti maniere la materia, provando e riprovando parecchie combinazioni di corpi in diverse circostanze, e ritornando talvolta a sindacare le leggi, già stabilite, con maggior accorgimento e con apparecchi ed istrumenti me-

Digitized by Google

glio costrutti e più precisi, affine di giungere a risultati più soddisfacenti e verificare in tal modo il grado d'esattezza di quelli ottenuti dai nostri predecessori. È dovere pertanto di chi scrive l'istituzione d'una scienza, che ogni dì va arricchendosi, di recare il lettore al livello delle attuali cognizioni, e di presentarla nel suo stato di perfezionamento. Non è questo un libro improvvisato ed elaborato su alcuni autori stranieri, che hanno trattato l'egual materia: procedendo in tal maniera si corre rischio di dimenticare qualche incremento che la scienza ha di recente avuto, e di tralasciare parecchie cose italiane di cui in quelle opere o non si fa parola o si mettono sotto altro aspetto. Il nostro *Corso elementare* è il frutto di parecchi anni di studi e d'esperienza, e nel vero significato del vocabolo un' *opera italiana*. Noi abbiamo consultato a tal fine non solo le fonti ed i libri che giudicammo i migliori e che potevano rendere più interessante il nostro lavoro; ma per le recenti scoperte e gli utili miglioramenti ci siamo valuti delle Collezioni periodiche e principalmente degli *Annali di fisica, chimica e scienze affini*, che già da otto anni si pubblicavano in Milano sotto la nostra direzione e che ora sono continuati in Torino con una nuova numerazione di volumi sotto la denominazione di seconda Serie. È una vera compiacenza per noi d'aver affidata l'edizione dell'una e dell'altra opera a quella *Ditta*, il cui istitutore è uno dei più colti e dei più benemeriti fra quegli uomini, che si sono incessantemente consacrati alla diffusione del sapere e delle utili cognizioni nella nostra Italia, colla pubblicazione di tanti libri e di tanti scritti intorno alle lettere, alle scienze ed alle arti.

Abbiamo detto come il calcolo serva mirabilmente ad estendere ed a generalizzare le conseguenze dedotte da leggi, rinvenute coll'osservazione e coll'esperienza. In questo *Corso elementare* quindi, mentre l'osservazione e l'esperienza si presentano in prima linea per la dimostrazione delle verità e la

determinazione dei dogmi e delle leggi della fisica, abbiamo a quell'intento, quando si presentava l'occasione, fatto uso del calcolo, entro la sfera però delle cognizioni, che si suppongono in coloro pei quali il *Corso* medesimo è scritto. Alcuni vorrebbero banditi i calcoli dai libri, che servono per un Corso elementare di fisica; altri all'incontro desidererebbero che si tralasciasse la maggior parte delle sperienze, che sono da essi considerate come specie di giuochi diretti più a dilettare che ad istruire. I primi perciò riscontreranno in questo libro troppo calcolo; i secondi troppo poco, e non approveranno forse il gran numero di sperienze e di fatti di cui è corredato. Chi poi tutto volesse ridotto a pochi principii generali ed a cifre algebraiche, non si accorge che, oltre una sterilità opprimente, il giovine studioso sarebbe in tal caso privo di quel corredo di fatti, di sperimenti e di notizie pratiche per essere diretto nel mondo corporeo ed avere quelle norme utili ad interpretare i fenomeni ed a giudicare gli avvenimenti, che tutto giorno succedono sotto i nostri occhi e che sono conseguenze delle leggi imposte dal Creatore alla materia ed ai corpi. Da quanto si è discorso si scorgerà di leggieri che gli uni e gli altri hanno egualmente torto. D'altronde per rispetto ai primi diremo che chi non sa maneggiare poche cifre per giungere ad importanti conseguenze e non ne comprende le *formole*, potrà saltare a piè pari quei calcoli e leggere *le conseguenze che se ne sono dedotte espresse nel comune linguaggio e stampate in carattere corsivo*. In quanto ai secondi aggiungeremo ch'essi dimenticano lo scopo dell'insegnamento della fisica nei Collegi nazionali e nei Licei. In questi stabilimenti, lo ripetiamo, non si tratta di addestrare il giovine nella matematica e di esercitarlo nelle operazioni del calcolo applicato ai fenomeni naturali, il che si apprende in altre scuole e colla lettura e colla meditazione di Memorie e di opere speciali; ma di diffondere nella classe educata le fisiche cognizioni, di famigliarizzarla coi

fenomeni della natura, d'istruirla sugli effetti delle arti e di metterla a portata di ritrarre qualche profitto dagli avvenimenti spontanei e mediati della materia nel corso della vita e della sua carriera civile.

Qualche riforma nell'istruzione primaria venne introdotta in parecchi Stati d'Italia e presso altri popoli d'Europa. Attualmente il giovinetto non è più obbligato a studiare una lingua morta, prima di conoscere le regole per iscrivere quella del luogo nativo; non è diretto ad esaltare soltanto la sua imaginazione nella poesia prima di educare la sua intelligenza almeno ad alcune idee positive; e non si vede insomma condotto a pascersi semplicemente d'astrazioni prima di apprendere la realtà di alcune delle cose che tanto interessano la sua vita futura. Ora domandiamo noi se non sia necessario e sommamente utile di rendere compiuto un tal cambiamento, e se le scuole secondarie istituite per la *generale istruzione* non siano suscettibili di somiglianti riforme? In Inghilterra è *comune l'insegnamento* delle prime erudizioni dell'aritmetica, della geometria, della storia naturale, della meccanica, della fisica, della chimica, dell'agronomia, del disegno usuale, ecc. Lo studio della latinità e della bella letteratura in un alle scienze filosofiche speculative forma presso quella grande nazione un' *istruzione speciale*. Questa specialità per gli abitanti del continente è destinata invece alle *scienze usuali*, che dovrebbero anzi costituire, come nella gran Bretagna, l'*istruzione generale* (1). Imperocchè questi studi contribuiscono allo sviluppo materiale e morale dei popoli, che hanno bisogno di idee positive, di verità feconde, di principii evidenti per progredire nella carriera del sapere, e per trasfondere nelle generazioni l'intima assicuranza del sentimento nazionale, per mezzo di

(1) Si vegga su questo soggetto il mio opuscolo che ha per titolo: *Dello studio delle scienze applicate all'industria*. Milano 1832.

cui si procede con sicuri passi verso quella meta, dove sta riposta la grandezza, la potenza e la felicità d'una grande nazione. Sin da quando sarà fatta una tale riforma nell'istruzione secondaria, è dovere di adattare almeno a quell'intento i libri delle scienze per renderle veramente utili alla generalità degli studiosi; ed è appunto tale scopo, cui tende il nostro *Corso*.

Questi *Elementi* non solo costituiscono nel loro insieme il corso di fisica pei Collegi nazionali e pei Licei; ma possono servire di comodo *Manuale* per tutti coloro che desiderassero di richiamare alla memoria qualche dottrina e di possedere un libro cui riferire i loro pensamenti, attignere i dati della scienza, ed avere la spiegazione dei fenomeni. Gl'ingegneri poi ed i cultori della fisica vi troveranno i metodi per valutare parecchi effetti, le formole per misurare diverse azioni e in generale le norme per giudicare differenti operazioni della natura e dell'arte. Imperciocchè il libro non è una semplice *Guida*, ma, come si disse, un *Corso elementare* della scienza. La prima di queste opere è stata scritta dal mio amico e collega, il chiarissimo prof. Botto, ed io mi reputerò contento se potrò aver soddisfatto ai bisogni della seconda.

Digitized by Google

INTRODUZIONE.

1. La *Fisica* è la scienza o la filosofia dei corpi e della materia. Dicesi poi *materia* tutto ciò che colpisce i nostri occhi, o che resiste alla nostra mano, o che in altro modo qualunque agisce o può agire sul nostro e su altri corpi. I metalli, le pietre, i legni, la carne, l'acqua, l'aria, ecc. sono altrettante materie o sostanze. L'aria, quantunque invisibile, ci manifesta la sua esistenza mentre la nostra mano si sforza di comprimerla rinchiusa in una vescica, o mentre si oppone sensibilmente ai corpi che con più o meno velocità in essa si muovono. — Il *corpo* è una determinata quantità di materia, i cui limiti sono ben definiti.

2. Un minuzzolo di materia, che non si può più oltre dividere o separare in parti coi mezzi che ci prestano le arti e le scienze, dicesi *atomo*. Più atomi congiunti insieme formano una *molecola* o *particella* di materia. Non conosciamo però gli atomi indivisibili ed elementari della natura; giacchè non si hanno ragioni sufficienti per ritenere veri elementi delle molecole e della materia quelli mostrati dalle arti e dalle scienze. L'unione di più molecole quindi costituisce ciò che chiamasi *corpo*. Tutti i corpi considerati complessivamente formano l'*universo sensibile* o *materiale*. Ciò che i corpi manifestano mediatamente o immediatamente ai nostri sensi dicesi *fenomeno*; così l'apparizione del sole è un fenomeno immediato; la comparsa d'una cometa in cielo, che si possa scorgere soltanto con

un cannocchiale, è un fenomeno mediato. La facoltà poi che i corpi hanno di eccitare in noi delle sensazioni diverse costituisce per essi altrettante *proprietà*.

3. *Sostanza* poi chiamasi quella materia la cui esistenza non è abbastanza manifesta, oppure della cui natura non si ha cognizione se non dopo un esame attento e rigoroso; così si hanno le materie dell'oro, dell'argento, del rame, del solfo e simili; e le sostanze imponderabili del calore, della luce e dell'elettricità, come pure le sostanze che esalano dai corpi in combustione, da quelli odorosi o puzzolenti e simili. Parimenti i componenti, ignoti o difficili ad essere conosciuti di alcuni corpi, si designano spesso col nome di sostanze: così le sostanze aeriformi non ancora determinate, quelle di alcuni acidi, come il fluorico, di cui non è bene conosciuta la natura. Si suole però spesso nel comune linguaggio confondere le parole *materia* e *sostanza*, ed usare indifferentemente l'una nel senso dell'altra.

4. I corpi sono distinti dai Naturalisti in tre grandi classi: in *minerali*, *vegetali* ed *animali*, che formano i *tre regni della natura*. I moderni dividono i corpi soltanto in due classi: i *corpi organici* e i *corpi inorganici*. I minerali non sono soggetti ad altri cambiamenti se non a quelli determinati da agenti o da forze esteriori, senza le quali non muterebbero mai il loro stato, e si aumentano soltanto per sovraposizione: questi costituiscono la classe dei *corpi inorganici*. I vegetali e gli animali, che compongono la classe dei *corpi organici*, si aumentano per nutrizione interna, e durante la loro esistenza o vita presentano parecchie mutazioni dipendenti da un particolar agente, che in essi risiede e che chiamasi *forza organica* o *vitale*; il cui stato costituisce la loro vitalità. Essi infine sono soggetti a *morte*, o alla cessazione della loro vitalità, per cui allora passano nello stato dei corpi inorganici.

5. Abbiamo detto che la *fisica*, di cui noi imprendiamo a trattare, è *la scienza dei corpi*; essa ha quindi per oggetto l'esame dei medesimi onde conoscere le proprietà, scoprire l'andamento dei fenomeni, indagandone anche le cause. Il vocabolo fisica deriva dal greco *physis*, che vuol dire natura; e perciò la fisica presa nel suo più ampio significato sarebbe *la scienza della natura*.

6. Attesa la vastità delle cose, di cui sarebbe oggetto la scienza della natura, essa si è divisa in diversi rami. Dicesi propriamente *fisica* la scienza che si è precedentemente definita; chiamasi *chimica* la scienza che, considerando le intime azioni esercitate dalle

molecole dei corpi le une sulle altre, studia di decomporli per iscoprirne i principii e le loro interne qualità, onde formare poscia nuovi composti con nuove proprietà; nominasi *storia naturale* la scienza che, appoggiata a proprietà desunte dalla fisica e dalla chimica, osserva le qualità dei corpi naturali e ne studia la loro fisonomia per descriverli, distinguere gli uni dagli altri e classificarli, agevolandone così lo studio e la cognizione. Questo ultimo ramo della scienza della natura si suddivide in altre tre parti, e prende il nome di *zoologia* se trattasi di classificare e di descrivere i corpi animali; di *botanica* se i corpi vegetabili, e di *mineralogia* se i corpi minerali. Finalmente si dà il nome d'*astronomia* a quella parte della fisica che studia i movimenti, le leggi ed i fenomeni prodotti dai corpi che spaziano pei cieli.

7. Malgrado questa distinzione, avviene diverse volte che la fisica s'incontra nelle medesime verità colla chimica, colla storia naturale e colle altre scienze della natura; così, per esempio, dopo le scoperte moderne sui gas e sul calorico, come potrà la fisica isolarsi dalla chimica allorquando tratta dei fenomeni dipendenti dalla dottrina dell'aria e del calorico?

8. Essendo il corpo un'unione di molecole materiali (§. 2), è d'uopo che vi sia una forza che le tenga più o meno strettamente congiunte. Questa forza, di qualunque specie essa sia, viene dai fisici denominata attrazione molecolare. Essa è incessantemente contrastata dalla sostanza del fuoco detta *calorico*, la quale s'intromette fra molecola e molecola, e ne diminuisce l'effetto. In fatti facendo raffreddare dell'acqua, con che se ne estrae il calorico, avviene che le molecole di essa esercitano maggiormente la loro mutua attrazione in modo da unirsi in una massa solida di ghiaccio. Parimente l'acqua riscaldata entra in ebollizione, e le sue particelle, per mezzo del calorico che vi s'intromette, sono talmente allontanate le une dalle altre da sollevarsi nell'atmosfera in istato di vapore. L'attrazione, se ha luogo fra molecole della stessa specie o natura o fra particelle omogenee di materia, prende il nome di *coesione*; che se le molecole, fra le quali essa ha luogo, sono eterogenee o di diversa natura, allora una tal forza prende il nome di *affinità*. Nel linguaggio comune si suole chiamare affinità l'attrazione molecolare; ma rigorosamente parlando questa è distinta dalla prima forza per non comprendere in tale denominazione anche la coesione, a meno che non si distingua cogli appellativi che faremo conoscere più avanti.

9. L'attrazione molecolare varia al cangiar della qualità del corpo; giacchè ogni corpo possiede in differente grado la proprietà di tenere combinato con sè il calorico. Il ferro, per esempio, il sego, l'acqua, l'aria, ecc. sono corpi nei quali l'attrazione, che tiene unite le molecole, essendo più o meno contrariata dal calorico con esse combinato, esercita un'azione differente e rende l'uno d'una consistenza diversa dall'altro. Le particelle del ferro sono tenute unite da una forza d'attrazione maggiore di quella che esercitano fra loro le molecole del sego; poichè per disgiungere le particelle del ferro le une dalle altre si richiede uno sforzo maggiore di quello che faccia bisogno per separare le molecole del sego. Parimente le particelle del sego si attraggono fra loro più delle molecole dell'acqua; giacchè le molecole del sego stanno disposte le une sopra le altre formando un aggregato di figura piramidale, mentre l'acqua si mette sempre al medesimo livello. La maggiore scorrevolezza e l'esilità delle molecole dell'aria, in confronto di quelle dell'acqua, dimostrano che le particelle di questa sono più coerenti le une alle altre di quello che siano le molecole dell'altra materia. Sottraendo d'altronde da parecchie sostanze aeriformi il calorico, esse si sono liquefatte ed anche solidificate, come è del *gas acido carbonico*. Ma si può domandare se una tale differenza d'attrazione molecolare, che si riscontra nei diversi corpi, dipenda da un diverso grado di forza di cui naturalmente sono fornite le molecole, oppure dall'essere l'azione della stessa più o meno contrastata dal calorico colle medesime combinato. Vedremo in seguito che le dottrine sul calorico ci presenteranno qualche lume per attenerci piuttosto all'una che all'altra opinione. D'altronde noi ignoriamo ed ignoreremo forse ancora per lungo tempo la forma, il volume reale e la natura delle ultime particelle dei corpi, alle quali, come si disse, si è dato il nome di atomi, perchè devono essere indivisibili, e la loro picciolezza è tale che non riescono percettibili ai nostri sensi, e non si possono riconoscere anche coi mezzi i più squisiti. Non sappiamo ancora positivamente quale sia la causa, che presiede alla loro aggregazione e combinazione, ed alla loro disposizione, quantunque si abbiano dei fatti, dai quali si apprende che l'elettrico vi debba intervenire in una maniera determinata. Tali indagini dipendono dai fenomeni elettro-chimici, ed appunto trattando dell'elettricità vedremo come questo fluido concorra all'unione ed alla separazione degli atomi eterogenei della materia. Per riguardo però alla coesione, siamo indotti a ritenere che essa nei corpi sia più o meno contrastata dal calorico inerente alla natura della materia, di cui i medesimi sono formati.

Digitized by Google

10. I corpi pertanto vennero distinti dai fisici in due grandi classi: in *solidi* e in *fluidi*. Ma siccome di questi ultimi alcuni sono liquidi ed altri aeriformi; così si sogliono i corpi ripartire eziandio in tre classi: cioè in *corpi solidi*, in *fluidi liquidi* e in *fluidi aeriformi*. Tutte queste tre classi di corpi sono pesanti, cioè sulle nostre bilance mostrano un peso, come vedremo, e perciò si dicono *corpi ponderabili*; per distinguerli da un'altra specie di sostanze, la cui esistenza non è confermata da questa proprietà.

Corpi solidi. Sono quelli i quali hanno le molecole sì aderenti fra loro che oppongono una resistenza molto sensibile al tatto, possono essere presi e stretti fra le dita, e conservano da per se stessi la figura che loro si dà o che prendono naturalmente. In questi l'attrazione molecolare prevale alla forza espansiva del calorico. Tali sono il ferro, l'acciaio, il marmo, il legno, la cera ecc.

Corpi fluidi. Sono quegli altri, le cui molecole hanno fra loro sì poca attrazione, che pochissima resistenza oppongono alla mano o a qualunque altro corpo che si cerca d'introdurre nella loro massa, non possono stringersi quindi fra le dita per la cedevolezza delle loro particelle, e non prendono nè conservano altra figura, che quella dei vasi in cui si contengono o sono rinchiusi. Tali sono il mercurio, l'acqua, l'olio, l'aria, i vapori, il fumo ecc.

Ma dei fluidi si sono fatte, come si disse, due classi: i *fluidi liquidi* e i *fluidi aeriformi*. I primi si comprimono con grandissima difficoltà, e sotto le forze ordinarie si possono ritenere come incompressibili; si dispongono sotto la forma di goccie, e in essi si può considerare che l'attrazione molecolare e la forza espansiva del calorico siano quasi in equilibrio. Tali sono l'acqua, l'olio, il vino, l'alcoole, il mercurio ecc. I secondi invece sono facilmente compressibili, e alla più lieve pressione si riducono colla stessa massa sotto minore volume. Nei fluidi aeriformi la forza espansiva del calorico è prevalente all'attrazione molecolare, per cui tendono incessantemente ad estendersi e ad occupare uno spazio maggiore, quando non vi sia ostacolo che si opponga al loro spandimento. Essi sono quindi in uno stato di tensione continua, ed una potenza naturale od artificiale è necessaria per impedire loro d'invadere tutto lo spazio, che non è occupato interamente dai solidi e dai liquidi. Qualunque fluido di questa specie, come l'aria, rinchiusa in una vescica, non si spande in essa nè la gonfia, per l'ostacolo che trova nella pressione dell'atmosfera o dell'aria esterna, dalla quale la sua tensione espansiva è equilibrata. Ma se la vescica

si colloca sotto una campana di vetro, da cui, con un apparecchio apposito detto *machina pneumatica*, che impareremo a conoscere nella fisica particolare, si estrae l'aria circostante alla vescica, questa si vedrà a gonfiarsi per la dilatazione del fluido aeriforme in essa contenuto, il che prova l'espansibilità d'esso o la prevalenza in lui della forza espansiva del calorico all'attrazione molecolare. Occupandosi dello studio di questi fluidi, vedremo in seguito che prendono il nome di *gas* e di *vapori*, secondo che il loro stato è più o meno permanente o meno o più labile a misura della pressione esterna e della temperatura, cui vengono sottoposti. L'aria, i gas, i vapori, il fumo e molte altre esalazioni sono altrettanti fluidi aeriformi.

Per la difficoltà che hanno i fluidi liquidi di essere compressi, e quindi in masse rinchiuse a non essere molto cedevoli ed elastici, mentre i fluidi aeriformi sono eminentemente compressibili ed elastici, si chiamarono questi ultimi *fluidi elastici* e gli altri *fluidi inelastici*. Queste denominazioni però si devono ritenere in senso relativo e non nel senso assoluto; perchè mostreremo nel corso di questi Elementi che anche i liquidi sono dotati di elasticità.

11. Oltre le precedenti tre classi di corpi detti *ponderabili*, se ne può annoverare una quarta, che comprende le *sostanze* o i *fluidi imponderabili*; i quali hanno forse i loro atomi e le loro particelle interamente soggette all'impero della forza espansiva del calorico. Le loro molecole riuscirebbero per tal modo così attenuate e discoste fra loro, ed i fluidi che compongono così rarefatti da sfuggire agli strumenti ed alle bilance le più sensibili per darci prova del loro peso e della loro materialità. Ignoriamo, a dir vero, quale stato prendono nello spazio questi fluidi; tutto sembra però indicare ch' essi si trovano in riposo, sin tanto che alcune circostanze non vengano a metterli in movimento, e per conseguenza a determinare un' azione sulla materia ponderabile, che investono. I principii, da cui dipendono i fenomeni della luce, del calore, dell'elettricità e del magnetismo, costituivano per l'addietro altrettanti fluidi imponderabili detti *lumico*, *calorico*, *elettrico* e *magnetico*. Ma da alcuni anni una serie di fatti ha mostrato che la causa, da cui dipendono i fenomeni del magnetismo, è identica con quella da cui derivano i fenomeni dell'elettricità; ossia il magnetico è lo stesso elettrico, i cui movimenti sono in particolari circostanze modificati. Talchè le *sostanze* imponderabili si possono ridurre alle tre: *lumico*, *calorico* ed *elettrico*, e non sappiamo forse se indagini più estese e moltiplicate,

e se ulteriori fatti possano condurre in avvenire i fisici a ritenere che i fluidi imponderabili dipender debbano da un solo ed unico principio, l'*etere universale*, modificato in diverse maniere da produrre le quattro differenti classi di fenomeni, che si comprendono sotto i nomi di *luce*, *calore*, *elettricità* e *magnetismo*.

Il *calorico* rende manifesta la sua presenza in tutti i corpi in combustione, nei raggi solari, ed è la cagione del *caldo* e del *calore*. Questo fluido imponderabile sembra fisso nei corpi, dai quali non si sviluppa che sotto date circostanze, e diventa capace a vincere l'attrazione molecolare ed a dividere i corpi nelle loro minime parti.

Il *lumico* è il principio luminoso, o quella sostanza qualunque che viene posta in azione dai corpi luminosi per portare sull'organo della visione l'impressione degli oggetti esterni e renderli per tal modo visibili. Questo fluido è spesso associato al calorico, come nell'irradiazione solare e nei corpi incandescenti.

L'*elettrico* è un fluido, dal quale, sotto diverse circostanze, dipendono i fenomeni dell'elettricità e del magnetismo, e si sviluppa principalmente col mezzo della frizione o dello stropicciamento dei corpi fra loro, e dell'azione chimica o dell'affinità. Esso sembra sparso in tutta la natura, e certe operazioni spontanee lo accumulano nelle nubi, per produrre i terribili fenomeni del lampo, del tuono e della folgore.

Esamineremo in altrettanti capitoli separati i fenomeni prodotti dai fluidi imponderabili; e si è allora che potremmo trovarci in istato di meglio far sentire le congetture sulla natura di questi principii, e valutare la probabilità dei sistemi per coordinare i diversi fatti e i diversi fenomeni da essi presentati, e per ispiegare i loro effetti. Intanto osserveremo che i fluidi imponderabili non si possono chiudere in generale in recipienti ed in vasi come l'acqua e l'aria, e che si chiamano perciò anche *fluidi incoercibili*, *impercettibili*, *intangibili*.

12. I corpi solidi sono *duri* e *molli*, ed anche *fragili* e *duttili*. Si dicono *duri* quelli che si spezzano con grandissima difficoltà, e non così facilmente si possono fare su di essi delle impressioni o delle ammaccature. Tali sono il ferro, il marmo, il diamante, le pietre, ecc. Al contrario si chiamano *molli* quei corpi che si spezzano senza difficoltà e ricevono facilmente le impressioni che si fanno sopra di essi. Tali sono la cera, il sego, la pasta, ecc. *Fragili* appellansi quei corpi nei quali non si possono alterare le di-

stanze mutue delle loro particelle senza distruggerne la coesione, cioè senza che i corpi si riducano in pezzi. Tali sono il vetro, la maiolica, l'acciaio ecc. *Duttili* all'opposto diconsi que'corpi, le cui particelle si possono sensibilmente smuovere le une sulle altre senza che perdano la loro coesione; così l'oro, il piombo, il rame si riducono, al laminatoio ed alla trafila, in lamine e fili sottili atteso la loro *duttilità*. I corpi sono *friabili* quando, nell'alterazione delle mutue distanze delle loro molecole, si riducono in minutissimi pezzi o in polvere, come sono lo zucchero, il sale comune e molti altri sali, ecc. Il corpo dicesi *malleabile* quando, sotto il martello e in generale sotto la percussione, si distende senza screpolature e senza interrompimento di continuità. L'oro, che è uno dei metalli più duttili, è anche moltissimo malleabile: se ne ha una prova nelle sottilissime foglie, che dal battiloro si tirano al martello per l'indoratura. L'argento, il rame, lo stagno si riducono pure in foglie sottili colla percussione, e perciò sono malleabili. La malleabilità non è in tutti i metalli in ragione della loro duttilità: il ferro e l'acciaio sono assai duttili, come provano i fili e le corde che servono pel clavicembalo, eppure sono pochissimo malleabili, non potendosi ridurre che in lamine d'un certo spessore che coll'aiuto del calore, e battendoli a freddo screpolano e si frangono.

13. La triturazione, la polverizzazione, la porfirizzazione, la fusione, la soluzione sono tutte operazioni colle quali si diminuisce o si rende nulla l'affinità d'aggregazione nei corpi. Colla divisione meccanica, che si eseguisce col pestello, colla lima, col coltello ecc., si rinviene che le particelle d'alcuni corpi non assomigliano al corpo da cui dipendono. Allora questi diconsi *corpi eterogenei*. Tale è il granito (specie di roccia, le cui lastre servono di marciapiedi e di comodo alle carrozze nelle principali nostre città), il quale è composto di quarzo, basalte e mica; tali sono le piante, che consistono in corteccia, legno, midollo, ecc.; tali i corpi animali, che sono un composto di pelle, grasso, cartilagine, carne ecc. Al contrario le più piccole molecole di alcuni altri corpi ottenute colla divisione meccanica, sono simili al corpo cui appartengono. Allora questi diconsi *corpi omogenei*. Tali sono il marmo bianco, l'acciaio, l'oro, l'argento, il ferro, il cinabro (solfuro rosso di mercurio), il solfo, il vetro, l'acqua l'aria ecc. Ma però alcuni di questi corpi omogenei sono composti di sostanze diverse, quantunque ciò non si scorga colla più diligente divisione meccanica. Così per esempio il marmo bianco, ri-

suita da calce ed acido carbonico; l'acciaio è composto di ferro e di carbonio (*carbone puro*); il vetro d'un alcali e di silice. In questo caso i corpi si possono chiamare *chimicamente* eterogenei, mentre *mecanicamente* sono omogenei.

14. Per separare le sostanze di cui è composto un corpo omogeneo, per esempio il marmo bianco, non si fa uso del coltello, del pestello, del martello o di altri strumenti mecanici, non potendosi anche coi migliori microscopii scorgere le sostanze calce ed acido carbonico da cui è costituito; ma questa scomposizione e separazione si effettua versando sul marmo bianco dell'acido solforico, che è un composto di solfo ed ossigene. La calce avendo maggior affinità coll'acido solforico che coll'acido carbonico, si combina col primo e forma il solfato di calce o *gesso*; l'acido carbonico, trovandosi allo stato libero, si sviluppa sotto forma di gas. In tal modo si giunge a scomporre il marmo bianco ed a separare i suoi due elementi calce ed acido carbonico: ciò che non si sarebbe ottenuto colla semplice divisione mecanica.

15. La scomposizione dei corpi nelle loro parti integranti non si può adunque effettuare cogli strumenti mecanici, ma bensì colla forza d'affinità di cui sono più o meno dotate le molecole de'corpi. Questo ed altri simili processi sono l'oggetto della chimica: e la separazione operata col mezzo dell'affinità si chiama appunto *decomposizione chimica*, a differenza di quella che si eseguisce coi coltello, col pestello, col martello, ecc., che si appella *divisione mecanica* (§. 13).

16. Le sostanze, in cui vien diviso un corpo, sono alle volte ancor esse composte, e si possono quindi nuovamente scomporre in altre materie. Le materie più semplici però, cioè quelle che per mezzo delle attuali cognizioni chimiche non si possono più decomporre in altre sostanze, si chiamano *elementi* o *corpi semplici*, e più modestamente *corpi indecomposti*.

17. Gli antichi ammettevano soltanto quattro elementi, la *terra*, l'*acqua*, l'*aria* ed il *fuoco*: ma coi lumi della moderna chimica si è scoperto che queste sostanze, credute elementari dagli antichi, sono in vece composte di materie differenti. Per lo che gli antichi, riducendo tutti i corpi a *terra*, *acqua*, *aria* e *fuoco*, pare abbiano voluto piuttosto designare i diversi stati in cui i medesimi si trovano in natura, e che formano le quattro grandi classi nelle quali generalmente vengono divisi, cioè di *solidi*, *liquidi*, *aeriformi* ed *imponderabili*, (§§. 10 e 11).

18. La chimica non ha soltanto per oggetto la decomposizione dei corpi (§. 15), ma si occupa anche ad unire materie diverse per formare un tutto avente differenti proprietà dei componenti, o per confermare quanto è stato scoperto dalla decomposizione. Quella operazione dicesi *composizione chimica*. La *decomposizione* e la *composizione* vengono anche chiamate coi vocaboli di *analisi* e di *sintesi*. Siccome queste due operazioni, in cui consiste tutta la scienza chimica, dipendono dall'affinità; così la cognizione dei diversi gradi di questa forza, di cui sono dotati i corpi, è la principal guida che possano avere i Chimici ed i Fisici per ritrarre qualche frutto dalle loro sperienze; per non prendere abbagli nell' apprezzare le conseguenze dedotte da conosciuti effetti; per cercare nuove proprietà con nuove composizioni e decomposizioni, separando materie che possono essere di nocumento al loro scopo, e raccogliere le preziose che rimarrebbero senza valore, per assegnare ad ogni sostanza i caratteri che la distinguono in mezzo a tutte le alterazioni inventate dalla cupidigia; in somma per ottenere prodotti utili alle arti, ai mestieri, all' economia pubblica e domestica, ed alla medicina.

19. L'attrazione può dunque aggregare e comporre. Si ha l'*aggregazione* se essa opera fra molecole omogenee, ed al contrario si ha la *composizione* allorquando agisce fra molecole eterogenee. La prima prende il nome, come si disse, di *coesione* o d' *affinità d'aggregazione*; e l'altra quello d'*affinità* semplicemente, o di *affinità di composizione* o di *combinazione*, ed ambedue si comprendono sotto la comune denominazione di *attrazione molecolare*. In un' aggregazione di sostanze aumenta bensì la massa, ma l' aggregato è della stessa natura delle parti integranti: mentre in una composizione il corpo che ne risulta è di differente qualità dei componenti. Così al mercurio aggiungendo altro mercurio, si otterrà un aggregato che, quantunque diventi di maggior massa, ha però le stesse qualità dei corpi primitivi; ma se al mercurio uniamo del solfo, le parti integranti di questo si uniscono con quelle del mercurio e formano un composto chiamato *cinabro* (solfuro rosso di mercurio), il quale ha qualità affatto diverse dal mercurio e dal solfo presi separatamente.

20. La coesione si scorge chiaramente nei solidi. Per convincersi ch' essa esiste anche nei liquidi, si prendano alcune gocce di una massa liquida e si ravvicinino opportunamente: si vedrà che in virtù della loro coesione, esse tosto vengono a formare ancora una sola massa. Per vedere con qual grado di forza si attraggono le molecole

d'un liquido, si pongono sopra un foglio di carta spalmato di polvere di licopodio due gocce d'acqua ad una piccola distanza fra loro; queste riavvicinate si attraggono e si uniscono in una sola massa. Lo stesso accade di due gocce di mercurio poste in vicinanza fra di loro sopra una lastra di vetro. In simili sperimenti bisogna avere l'avvedutezza di non porre le due gocce di liquido sopra corpi che abbiano maggior affinità col liquido medesimo, di quello che le molecole di esso liquido fra di loro. In tal caso le molecole, in vece di riunirsi fra se stesse, si combinerebbero col corpo sul quale riposano per la prevalenza d'affinità che hanno col medesimo. Così nello sperimento precedente se non si fosse spalmato di licopodio il foglio di carta, le gocce dell'acqua, in vece di unirsi fra di loro, si sarebbero combinate colla carta, perchè l'acqua ha con questa materia un'affinità maggiore di quello che le molecole acquee abbiano per se medesime. Le molecole dei fluidi aeriformi sono dotate anch'esse di coesiona, che le unisce in aggregato, giacchè togliendo il calorico, che si opponeva all'azione di quella forza, si è giunto a liquefare alcuni gas.

21. L'attrazione, oltre unire particelle di sostanze omogenee per fare degli aggregati, esercita la sua azione anche sopra molecole eterogenee per formare dei corpi composti. Lo zucchero, i sali, ecc. posti nell'acqua si combinano con questo liquido in modo che quelle materie non si riconoscono neppure coi migliori microscopii. L'acido solforico (*olio di vitriolo*), l'alcoolè (*spirito di vino* o di altra sostanza), ecc. versati nell'acqua formano un liquido unico omogeneo, senza che l'uno si distingua dall'altro, perchè le loro particelle si sono chimicamente combinate. In ogni caso l'affinità che ha l'acqua collo zucchero, col sale, coll'acido solforico, coll'alcoole è maggiore della coesione che teneva fra loro unite le molecole dello zucchero, del sale, dell'acido solforico, dell'alcoole. Se la cosa fosse altrimenti, non succederebbe la combinazione. Si ponga in fatti in un vaso dell'acqua e dell'arena: per quanto si rimescolino queste due materie, l'arena non si combina coll'acqua per formare un liquido uniforme, come avvenne superiormente collo zucchero, col sale, ecc. In questo secondo caso è la coesione prevalente delle molecole integranti dell'arena fra loro sopra l'affinità, che le stesse possono avere coll'acqua, che non permette la combinazione delle due materie. Mescolando in vece l'arena con dell'acido fluorico, succede una combinazione a motivo che l'arena ha più affinità con quest'acido che con se stessa. Così posti in un vaso dell'olio e dell'acqua, per quanto si agiti il mi-

scuglio, la prima materia resta sempre distinta dalla seconda, e la combinazione non ha luogo a motivo che le molecole dell'olio hanno molto più attrazione fra loro che con quelle dell'acqua. Questi due liquidi però si uniscono colla mediazione della potassa. Egualmente empiuta d'acqua una porzione della capacità d'una boccia, mentre nella rimanente è contenuta dell'aria, se i due fluidi vengono agitati, non succederà una combinazione, e quella materia starà sempre separata da questa.

22. Quando un corpo solido ed un liquido, l'uno posto nell'altro, si combinano insieme in modo da formare una sola massa fluida uniforme, il liquido dicesi *solvente* o *menstruo*, la sostanza che vi si unisce *solubile*, e l'operato *soluzione*. Se le molecole del solvente si sono combinate a tante particelle del solubile in modo da non rimanervi altro liquido atto ad esercitare la sua affinità prevalente sulle molecole della sostanza solubile, allora il liquido è come sazio di attrarre a sè delle particelle del solubile medesimo: questo punto chiamasi *saturazione*. Dunque per quanto noi mettiamo dello zucchero nel caffè, o del sale nel brodo, giunti questi liquidi al punto di saturazione, lo zucchero ed il sale sovrabbondanti cadono al fondo del vaso, dove quei liquidi si contengono.

23. Alcuni sogliono distinguere *soluzione* da *dissoluzione*: nel primo caso la combinazione succede senza che i componimenti del solubile o del solvente si separino; nel secondo al contrario o il solubile o il solvente, o ambedue queste materie si decompongono. Si hanno delle dissoluzioni combinando gli acidi coi metalli. Nelle dissoluzioni poi la combinazione succede sotto determinate proporzioni, mentre nelle soluzioni i due corpi si uniscono sotto differenti proporzioni. Nel primo caso si hanno vere *combinazioni chimiche*, mentre nell'altro si hanno soltanto semplici *mescolanze chimiche*.

24. La soluzione dei metalli nel mercurio vien chiamata col nome particolare d'*amalgama*. Le lastre degli specchi di vetro sono rivestite d'un'amalgama di mercurio e di stagno. Se nella combinazione di più metalli non entra il mercurio, allora si fa una *lega*, e non un'amalgama. Il bronzo è una lega di rame e di stagno.

25. Le *infusioni* e le *decozioni* sono operazioni che partecipano della soluzione. Nell'infusione l'operazione è lenta, e si scioglie soltanto una porzione della massa solida infusa nel liquido. I liquidi, che nelle officine farmaceutiche si appellano col nome di *tinture*, sono d'ordinario altrettante *infusioni* o soluzioni di una o più sostanze, o della parte aromatica di esse nell'acqua, nell'alcoole o in altro li-

quido. Nella decozione invece l'unione di parte della massa del solido col liquido, si aiuta col mezzo del fuoco. Il caffè che si prende in bevanda è una decozione dell'aroma di quel vegetale nell'acqua.

26. L'attrazione distrutta in alcuni corpi, come nelle sostanze animali e vegetali, non si può ristabilire coi mezzi prestatici dalle scienze e dalle arti, e ciò perchè oltre quella forza, vi concorre a tenerne unite le parti un'altra detta *organica* a noi sconosciuta. Al contrario per ripristinare la coesione nelle molecole in cui è stato diviso un corpo solido inorganico, basta sciogliere in un liquido o fonderlo al fuoco; poscia sottraendo a poco a poco il liquido o il calorico che sciolse o fuse le molecole intregranti o costituenti, queste si riuniscono in una sola massa formando un aggregato o un composto. Se le molecole fossero state unite senza l'aiuto d'un liquido o del calorico, si avrebbe avuto un *mucchio*, e non un *aggregato* o un *composto*. Perciò parecchie molecole di sale ammonticchiate le une sulle altre formeranno un mucchio di sale, e non un aggregato; che se il sale venga sciolto nell'acqua, e poscia questa si faccia svaporare, le particelle saline si uniranno in una sola massa e formeranno un aggregato. Lo stesso si dica di parecchi pezzetti di piombo, di stagno o d'altri metalli, i quali non potranno mai essere uniti senza che prima vengano fusi col fuoco; dopo di che, lasciata raffreddare la massa, si riconsolideranno in un aggregato. Come pure sciolti alcuni grani di solfato di magnesia (*sale d'Inghilterra, sale di Modena*) in una data quantità d'acqua distillata, ed alla soluzione aggiunta dell'ammoniaca liquida, parte della magnesia si depositerà sul fondo del vaso in cui si fa l'esperimento. Se poscia si svapori il liquido, si formerà un sale composto d'acido solforico, di magnesia e di ammoniaca. Questo sale non si sarebbe ottenuto senza l'aiuto dell'acqua solvente e del fuoco. In generale l'affinità e la coesione esercitano meglio la loro azione quanto più i corpi sono divisi in parti. L'attrazione molecolaria inoltre agisce soltanto alle minime distanze, a differenza delle altre due specie d'attrazione, la terrestre e la celeste, le quali fanno sentire i loro effetti anche a grandi distanze.

27. La chimica nelle sue composizioni e decomposizioni si serve di due metodi: del *fuoco* cioè e di certi liquidi, detti *reagenti* dall'agire che fanno sui corpi per iscomporli. Col primo di questi metodi si opera per *via secca*, col secondo per *via umida*.

28. Allorquando l'evaporazione o il raffreddamento si fanno con lentezza, e il corpo sciolto o fuso non viene agitato mentre si fa

partire il liquido o il calorico, le molecole del corpo non formano nell'aggregarsi delle masse confuse ed informi; ma l'attrazione ha tempo di agire regolarmente, per cui si dispongono in figure regolari e simmetriche, e generano quei corpi che si chiamano *cristalli*. L'operazione mediante la quale si formano questi corpi regolari dicesi *cristallizzazione*. I cristalli hanno per lo più le loro facce terminate da superficie piane, le cui forme sono sempre le stesse per la medesima materia, quantunque differenti per sostanze diverse. La figura che costantemente prende un corpo nel cristallizzarsi è uno dei segni con cui esso vien caratterizzato e distinto dagli altri, e la mineralogia (§. 6) approfitta anche di questa proprietà per descrivere e classificare i corpi inorganici.

29. Allorchè si analizza un corpo, o succede una *precipitazione*, se un componente o un nuovo composto si deposita sul fondo del vaso nel quale vien fatto lo sperimento; o una *sublimazione*, se la sostanza che si separa vien a galla; o finalmente una *gasificazione*, se la materia che si disgiunge sfugge sotto forma di gas o aria. Noi vedremo in seguito accadere questi differenti fenomeni.

30. Dopo aver mostrato l'oggetto della fisica, e date le prime nozioni intorno ai corpi ed alle principali forze agenti sulla materia, noi verremo a studiarne le proprietà ed i fenomeni. Nello studio di queste proprietà, nello stabilire le leggi della scienza e nelle spiegare questi fenomeni, si fa uso dell'*osservazione* e dell'*esperienza*. La contemplazione di quei fenomeni che spontanei si presentano da se stessi, dicesi *osservazione*. Così per es. contemplando il sole con un cannocchiale per dedurne il movimento di rotazione che fa intorno al proprio asse e le macchie di cui è sparso, si fa un'*osservazione*. Quando poi i corpi coll'arte si riducono in istato da mostrarci dei fenomeni, che da se stessi non si sarebbero presentati, allora queste operazioni si dicono *esperienze* o *esperimenti*. Così per es. comprimendo con prestezza un soffietto per vedere se l'aria che ne sorte mette in movimento dei piccoli corpi, o estraendo l'aria da un pallone di rame per sapere se esso è divenuto meno pesante; oppure, mediante uno stantuffo, comprimendo l'aria contenuta in un tubo per conoscere quale resistenza presenta: in tutti questi casi si fa un *esperimento*.

Per istituire degli esperimenti e per fare delle osservazioni è necessaria una raccolta di corpi, d'attrezzi, di strumenti, di machine, e in generale di apparati o apparecchi, che costituisce la *suppellettile* della scienza, e il *gabinetto di fisica*.

31. L'osservazione e l'esperienza sono adunque le basi per istu-

diare la fisica: ciò che da esse è dimostrato dicesi *fatto*. L'*arte del fisico* consiste nel raccogliere dei fatti ben verificati, classificarli secondo la loro analogia e in fine procurare di ridurli ad una stessa cagione. A tale oggetto si devono prima d'ogni cosa paragonare i fatti fra loro per vedere in che convengono o disconvengono, onde prendere poscia un fatto principale, dal quale tutti gli altri naturalmente dipendono, ed intorno al quale, come ad un comune centro, si vanno spontaneamente collocando. Questo fatto, al quale tutti gli altri riduconsi, dicesi *causa fisica* o *legge di natura*: e chiamasi *teorica* la norma che si ricava da un complesso di fatti così ridotti per determinare la figliazione d'altri fatti. Nella riduzione di questi fatti serve molto il calcolo, come quello che all'uopo maneggia con destrezza, e misura con la maggior esattezza possibile i rapporti delle cose ed il grado di loro scambievole dipendenza.

32. L'universo materiale è per noi una serie di sensazioni, le quali cangerebbero quando i nostri organi venissero cangiati, e ci comparirebbe tutt'altro se i nostri occhi, invece d'essere come al presente sono, fossero a microscopio od a telescopio conformati. Le nostre cognizioni sui corpi non pervengono quindi sino a comprendere l'immutabile natura delle cose; e per rispetto alle cagioni primitive siamo e saremo sempre non altrimenti che i ciechi sono per riguardo ai colori, e sarebbe un gettare vanamente le nostre fatiche e travagliarci in indagini, che oltrepassano i limiti del nostro intendimento, e dalle quali altro di certo non si ricaverebbe che vaneggiamenti ed errori. I fisici moderni pertanto sono tutti intenti a raccogliere e ridurre fatti, ed a concatenare cause particolari ad una causa generale *per avvicinarsi quanto più si può, coll'aiuto del tempo e dei lavori dell'età avvenire, alla riduzione dei fenomeni tutti dell'universo ad un solo, che viene considerato come il limite d'ogni fisico sapere, e di quella perfezione da cui siamo al presente lontani, cui dobbiamo sempre adoperarci per arrivare, ed alla quale forse non perverremo giammai.*

L'indagine della cagione dei fenomeni è della maggior importanza pel fisico; ma tutte le volte che si vuole risalire all'origine, si giunge ad un punto oltre il quale il nostro intelletto non può progredire. In questa sorta d'indagini è scopo della scienza di allontanare il dubbioso, e di portare i suoi studi su quegli oggetti soltanto che la ragione non può comprendere, cercando coll'osservazione e coll'esperienza di scoprire nei fenomeni quelli che sono i più generali ed i

più influenti. Questi fatti, esattamente conosciuti e ben definiti, servono in seguito di principio per giungere ad altri fatti conseguenti. In tal modo le nostre incertezze non cadono più sui fenomeni, nè sulle loro combinazioni, le sole cose che ci sono realmente utili; ma esse sono unicamente sulla causa primitiva d'un piccolo numero di fatti; talchè se quelle sono inevitabili, vengono tuttavia ridotte ai loro giusti confini. Nelle indagini delle proprietà e dei fenomeni dei corpi, il fisico va in cerca delle cause secondarie, secondo le quali si scoprono le leggi che Dio, come cagione primaria, ha imposto alla materia all'atto della creazione. Il *sole* è causa dei vapori; i *vapori* producono le nuvole; dalla condensazione delle *nuvole* si genera la pioggia; dalla *pioggia* nascono i fiumi, le sorgenti, la fertilità del terreno e simili; e così di altri effetti secondarii, che diventano alla lor volta cause di altri effetti ancora. Ma la causa principale di tutti questi fenomeni è il *sole*. E del sole qual'è la cagione primitiva? La fisica non va più in là, e solo si prova colla filosofia razionale l'esistenza d'una *causa primitiva* da cui derivano tutte le cose, l'esistenza di Dio.

33. Alcune regole furono stabilite dai fisici per agevolare il modo di rinvenire la cagione dei fenomeni e di stabilire le teoriche: le quali regole formano, per così dire, una logica particolare per la fisica. Queste sono:

I. *Non si devono ammettere altre cagioni delle cose naturali se non quelle che sono vere e che bastano per dare spiegazione dei fenomeni.* Di fatto la natura non fa cosa alcuna invano: ed è un agire inutilmente facendo con molti mezzi ciò che si può fare con pochi. Inoltre le cagioni, da cui soglionsi dedurre le spiegazioni de' fenomeni, devono essere vere, cioè fatti certi; escludendosi con ciò le ipotesi arbitrarie per farle servire di base a vaghe ed insufficienti congetture. I fenomeni naturali devono essere fondati su altri fenomeni, non sulle nostre ipotesi immaginarie. Quando però dopo molte indagini non siasi potuto trovare la vera cagione degli effetti naturali, è concesso di formare un ben ragionato e probabile sistema, che spieghi i fenomeni con chiarezza e con semplicità, senza prendere ad imprestito nuove ipotesi, e senza contraddirsi talvolta nelle spiegazioni.

II. *Si devono sempre assegnare le medesime cause ai medesimi effetti.* Così la causa, che fa respirare le bestie, sarà eguale a quella che opera la stessa funzione negli uomini. Parimente si dovrà ritenere eguale la causa che fa cadere verso la terra l'acqua ed un metallo. Questa regola si fonda perciò sull'analogia.

III. *Le qualità, che convengono a tutti i corpi sopra i quali si possono fare delle sperienze, debbono essere riguardate come proprietà di tutti i corpi in generale.* Le qualità e le proprietà dei corpi ci son cognite soltanto per mezzo delle osservazioni e delle sperienze (§. 31): quindi ciò, che ci vien mostrato costantemente nei corpi da tutte le osservazioni e le sperienze possibili a praticarsi, deve tenersi per una proprietà generale anche a quei corpi sui quali non si possono istituire delle osservazioni e degli sperimenti, per la ragione che la natura è uniforme ed analoga a se medesima.

34. Le proprietà dei corpi, o convengono a tutti indistintamente e non hanno bisogno d'un esame molto attento e rigoroso per riconoscerle, ed allora diconsi *proprietà generali*; o appartengono soltanto ad alcuni corpi, ed in tal caso si chiamano *proprietà particolari*.

La fisica perciò dividesi in due parti, *fisica generale* e *fisica particolare*. Nella prima parte si tratta delle proprietà generali dei corpi, studiandone i fenomeni ed assegnandone le cagioni; nella seconda ci occupiamo dell'esame delle proprietà fisiche particolari dei corpi, indagando le cause degli effetti. Nella fisica generale dunque si comprendono le dottrine che risguardano tutti i corpi, senza occuparsi di proprietà di cui soltanto alcuni sono dotati. La fisica particolare è più estesa, mentre propriamente dovrebbe parlare di tutte le sostanze, per esaminare le singole fisiche proprietà che a ciascuna di loro competono, e dovrebbe quindi abbracciare ne' suoi trattati particolari i metalli, le terre, gli acidi, i diversi gas, in somma tutto l'indefinito numero di materie che concorrono a formare questo nostro globo. Ma siccome tutti questi corpi si dividono in tre grandi classi, i *solidi*, i *liquidi* e gli *aeriformi* (§. 10); così il trattato delle fisiche proprietà particolari dei corpi viene distinto in tre rami, la *fisica particolare dei solidi*, la *fisica particolare dei liquidi* e la *fisica particolare degli aeriformi*.

Coi solidi combinati in diverse maniere si possono formare degli ordigni e delle machine differenti, che dipendono dai principii generali del moto, servono moltissimo per la costruzione degli apparati della fisica, e riescono il fondamento della dottrina delle machine nella mecanica. Inoltre si può prendere in esame la resistenza alla rottura delle diverse materie solide, il loro peso specifico e diverse altre proprietà onde avere una norma nella scelta di esse per la costruzione dei differenti ordigni e delle differenti machine. È appunto su tali argomenti che si aggirerà la fisica particolare dei solidi. Fra i liquidi, l'acqua è quello, di cui più c' interessa di

Digitized by Google

studiare le proprietà; per l'abbondanza con cui è sparsa in tutta la natura; talchè nella fisica particolare si parlerà dei liquidi in generale, e principalmente dell'acqua. Della terza classe dei corpi ponderabili, il più universalmente sparso sul nostro globo è l'aria, per la quale è costituito quell'immenso ammasso fluido, che forma l'atmosfera, dove ci troviamo continuamente immersi e succedono tanti fenomeni differenti. La fisica particolare dei fluidi aeriformi quindi si aggirerà in generale su di essi e specialmente sull'aria. Questi tre trattati per tal modo comprenderanno nel loro insieme la *fisica particolare dei corpi ponderabili*.

La *fisica particolare delle sostanze imponderabili* sarà compresa in quattro trattati differenti pei diversi fenomeni che si osservano e si producono coi principii della luce, del calore, dell'elettricità e del magnetismo. Talchè la fisica particolare per intero sarà divisa in sette capitoli differenti, i primi tre dei quali comprenderanno i *corpi ponderabili*, e gli altri quattro le *sostanze imponderabili*.

35. Si danno parecchi fenomeni della natura, che per la loro importanza debbono far parte d'un corso di fisica, e non trovano luogo apposito nei diversi capitoli della fisica particolare; sia perchè non si possono dichiarare che con dottrine appartenenti a più d'uno dei medesimi, come dipendenti da processi naturali complicati; sia perchè, in causa della loro estensione e singolarità, non v'ha un posto ben determinato dove essere innestati senza dilungarci di troppo a nocumento della successione e concatenazione delle verità fisiche. Perlochè si aggiunge una terza parte, nella quale ci occuperemo della fisica applicata alla spiegazione dei più grandi fenomeni della natura, sia in terra, sia nell'atmosfera, sia nel firmamento, e perciò questa terza parte si comprenderà sotto la generale denominazione di *fisica cosmologica*. La fisica generale, la fisica particolare e la fisica cosmologica sono quindi le tre parti, in cui saranno divisi questi *Elementi* della scienza, alle quali abbiamo fatto precedere un' introduzione, dove si sono date le principali nozioni e definizioni; si è fatto conoscere lo scopo della fisica, il modo con cui indagare la verità, studiarne i fenomeni, e stabilirne le leggi e le teoriche; e come è distribuita la trattazione delle diverse parti della nostra scienza.

36. Alla fisica siamo debitori di una quantità di scoperte che sono di grande giovamento nella vita civile. Tali sono i parafulmini, che preservano i nostri magazzini e le nostre abitazioni dalla folgore terribile; tale la bussola, che serve di guida al nocchiero per dirigere

Digitized by Google

in mezzo ai mari la sua nave; tali gli occhiali, i cannocchiali e i microscopii, che ci fanno conoscere la presenza degli oggetti invisibili ad occhio nudo o per imperfezione della nostra vista, o per la loro lontananza, o per la loro picciolezza; tale l'arte di colorire i marmi e di lavorare i metalli; e tali sono moltissime altre scoperte utili ai mestieri, alle arti ed alle scienze. Inoltre nei mestieri e nelle arti meccaniche, che occupano la maggior parte degli uomini, si presentano spesso dei nuovi fenomeni e delle nuove difficoltà; e l'artefice e il manifattore, per essere poco istrutti delle scienze fisiche, si trovano nella dispiacevole situazione da non potere spiegare gli uni e vincere le altre. Al contrario quando essi non siano sprovveduti di cognizioni fisiche, sapranno superare facilmente queste difficoltà o sciogliere quei dubbii che offuscano i fenomeni, e così tener conto di tutto ciò che potrebbe o perfezionare o essere di danno ai loro lavori.

Finalmente lo studio della fisica ci salva dalle superstizioni e dai pazzi pregiudizii, istruendoci che i fenomeni, i quali sembrano sopranaturali all'idiota, provengono da cause naturali, e procura ad ogni uomo pensante il più nobile piacere, conducendolo alla conoscenza d'un potente e saggio Facitore del creato (1).

(1) Pei vantaggi, che la fisica presenta alla società sotto ogni riguardo, può leggersi il mio opuscolo: *Dello studio delle scienze applicate all'industria*. Milano, Fontana, 1852.

Digitized by Google

PARTE PRIMA

DELLA FISICA GENERALE.

37. Quasi tutte le proprietà generali sono dipendenti dalla situazione e dal collocamento delle molecole materiali, ed una soltanto si riferisce ai corpi interi, ad una sola molecola ed anche ad un solo atomo considerato come un'unità di materia. Le prime proprietà, cui si può applicare la denominazione distintiva di *statiche*, hanno fra loro dei vicendevoli rapporti e delle analogie, che stabiliscono delle dipendenze nel modo con cui ci si presentano; l'altra in vece sta da sè, e dà nascimento ad una serie di fenomeni in virtù d'un cambiamento di luogo che subisce o tende a subire l'unità di materia, e comprende tutte le *proprietà dinamiche* dei corpi. Quelle della prima serie sono l'*estensione*, la *figurazione* e l'*incompenetrabilità*, che diconsi *proprietà essenziali*, perchè non si può concepire l'idea di corpo senza averle presenti all'immaginazione; dopo le quali vengono per ordine la *porosità*, l'*attrazione*, ed inoltre la *condensabilità*, la *rarefattibilità*, la *divisibilità*, la *compressibilità* e l'*elasticità*. Nella seconda specie si comprende la sola *mobilità*. Noi quindi divideremo la fisica generale in *due capitoli* distinti, nel primo dei quali si parlerà delle *proprietà statiche*, nel secondo della *mobilità* o *delle proprietà dinamiche*.

CAPITOLO PRIMO

DELLE PROPRIETA' GENERALI STATICHE.

38. Nell'esercizio di alcune proprietà statiche il corpo è affetto in modo passeggiero in virtù di agenti o di mezzi estranei a lui. Altre invece dipendono da cagioni che nascono, per così dire, colla materia, e sono da questa inseparabili. Quelle di quest'ultima categoria chiamansi *proprietà primarie* e le altre *proprietà secondarie*. L'estensione, per esempio, è una proprietà generale primaria, perchè si

mostra da sè nei corpi, senza bisogno di agire con istrumenti o con altri mezzi per riconoscerla nei corpi medesimi; al contrario la divisibilità è una proprietà generale secondaria, giacchè per mostrarla nei corpi è d'uopo esercitare su di essi l'operazione della divisione con qualche strumento o altro mezzo. Il primo capitolo pertanto della fisica generale verrà diviso in due sezioni; la prima delle quali tratterà delle *proprietà primarie*, e l'altra delle *proprietà secondarie*. Le prime cinque delle proprietà statiche, precedentemente annoverate, sono primarie e quindi appartengono alla sezione I, e le altre cinque come secondarie alla sezione II.

SEZIONE I.

Delle proprietà statiche primarie.

39. Ciò che si presenta prima allo sguardo nell'osservare i corpi è l'*estensione*, ossia la *proprietà ch'essi hanno d'occupare, in virtù delle loro molecole, una porzione dello spazio.*

L'estensione è una di quelle idee le quali, per la loro semplicità, sfuggono ad ogni definizione ed analisi. Essa è una cognizione che lo spirito dell'uomo acquista naturalmente appena apre i lumi alla ragione, per cui volendola definire s'inciampa in nozioni che non sono egualmente semplici e chiare.

Essendo un corpo un'unione di molecole, senza però che le une si confondano colle altre (§. 2), diremo che v'ha estensione ove siavi contiguità e distinzione di parti. Dunque l'estensione è una proprietà generale, essendo tutti i corpi formati d'un'unione più o meno grande di particelle materiali, le quali sono bensì contigue, ma distinte le une dalle altre. I corpi più minuti e più sottili, nei quali l'occhio nostro non iscorge un'estensione sensibile, devono però essere estesi, se molti di essi arrivano ad occupare uno spazio esteso sensibile. Così parecchi fogli di carta fina, uno dei quali sembra non abbia grossezza alcuna, posti gli uni sugli altri vengono a formare una grossezza sensibile.

40. I geometri distinguono tre specie d'estensione, cioè: 1° l'*estensione lineare* o di lunghezza soltanto; 2° l'*estensione superficiale* o di lunghezza e larghezza; 3° l'*estensione solida* o di lunghezza, larghezza ed altezza (profondità o grossezza). I fisici invece considerano solamente quest'ultima specie, e chiamano *volume* d'un corpo lo spazio che esso occupa, e che i geometri appellano solidità. Bisogna però distinguere il *corpo geometrico* dal *corpo fisico*; il primo è for-

mato dalla semplice estensione, e l'altro è costituito dalla materia che in quello spazio si trova (§. 2), la quale dicesi *massa*. Un cubo, p. e. d'un metro di lato, tanto che sia massiccio quanto cavo al di dentro, è lo stesso pel geometra; mentre pel fisico riescono due oggetti ben differenti.

L'estensione viene misurata dai geometri mediante un'altra estensione della stessa specie, che serve d'unità di confronto. In ogni Stato, in ogni provincia e perfino nella stessa città, sono ancora in uso differenti misure, differenti pesi e differenti monete. Gli scienziati volendo togliere gl'inconvenienti che risultavano dall'usare tante diverse unità di misure, di pesi e di monete, pensarono a stabilire una misura fondamentale, che dovesse essere intesa ed adoperata almeno da tutti i dotti per introdurla poscia col tempo nelle contrattazioni sociali fra i popoli inciviliti, e che avesse il pregio d'essere fondata sopra oggetti stabili, onde poter essere verificata quando venisse il bisogno.

41. Parecchi astronomi e fisici avevano misurato in Francia, in Italia, in Ispagna e in altri Stati d' Europa e d'America ecc. alcuni gradi del meridiano terrestre, da cui ricavarono la lunghezza d'un grado e quindi quella di 360° o dell'intero meridiano. Stabilirono quindi d'accordo tra loro di adottare una parte aliquota del meridiano stesso per unità di misura lineare, che è la dieci milionesima parte del quarto del medesimo o la quaranta milionesima parte dell'intero, la quale chiamasi *metro* (1). Vedremo in seguito come il pendolo possa pure fornirci un'unità di misura lineare stabile. Se i Romani ed i Greci avessero stabilito e ricavato le loro misure da oggetti fissi, e posseduto avessero i mezzi forniti dalla scienza per verificarle al bisogno, noi potremmo oggidì riprodurre tutte le loro misure, e parecchie questioni importanti per la geografia, per la storia e per le arti non resterebbero indecise.

I multipli e le suddivisioni decimali del metro si indicano met-

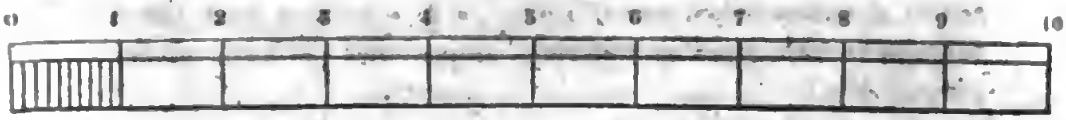
(1) Essendosi rifatti i lunghi e complicati calcoli della misura del meridiano terrestre, si è trovato che la diecimilionesima parte del quarto di esso è di 178 milionesimi più grande del *metro attualmente in uso*, prendendo la media dei risultati ottenuti dal francese Puissant e dall'italiano Amante. Talchè alcuni hanno adottato di chiamare *metro scientifico* la diecimilionesima parte del quarto del meridiano risultante dalla verificazione di quelle misure, e *metro legale* l'attuale metro in uso, che risultava la diecimilionesima parte egualmente secondo gli antichi calcoli, colla differenza però di pochissimo momento, di cui non si tiene conto nelle valutazioni e nei calcoli ordinarii.

tendo come suffisso, al nome dell'unità principale, le particelle *milli*=millesimo, *centi*=centesimo, *deci*=decimo, *deca*=decina, *etto*=centinaio, *chilo*=migliaio, *miria*=decina di migliaia. Il valore che prende la parola *metro* apparisce dal seguente quadro, nel quale poniamo anche alcuni altri nomi equivalenti usati in qualche Stato d'Italia ed introdotti nell'anno 1807 quando si incominciò ad attivare in esso il sistema metrico.

Misure lineari.

Miriametro	equivalente a metri	10000
Chilometro o *miglio (metrico)*	»	1000
Lega metrica	»	4000
Ettometro	»	100
Decametro	»	10
Metro	»	1
Decimetro o *palmo (metrico)*	»	0,1
Centimetro o *dito (metrico)*	»	0,01
Millimetro o *atomo*	»	0,001

Lo studioso deve farsi un'idea distinta dell'unità di misura lineare o del metro, dal quale dipendono, come vedremo, tutte le altre unità per le valutazione delle superficie, delle capacità o dei volumi, dei pesi e delle monete che servono a rappresentare il valore delle cose e dei corpi. Volendo dare un'idea del metro, presentiamo nella figura qui annessa quella della lunghezza della sua decima parte o del decimetro colla divisione in centimetri, ed uno di questi ripartito anche in millimetri. Se il foglio di carta, cui è affidata questa lun-



ghezza, non fosse soggetto a cambiare di dimensioni in causa del maggior o minor grado d'umidità e di temperatura dell'atmosfera, come pure della compressione del torchio che ha servito a stamparlo; si potrebbe una tale lunghezza raccomandare come tipo. I suddetti inconvenienti però, cui è soggetta la carta, ci mettono in grado di presentare soltanto il decimetro qui impresso come approssimativo, e per dare un'idea dell'unità di misura, di cui ci serviremo in tutto il corso di quest'opera (1).

(1) Infine di questi *Elementi* abbiamo dati i rapporti che hanno col metro le misure più usitate in Italia e in Europa.

Digitized by Google

42. Per l'unità di misura dell'estensione superficiale si è adottato in generale il *metro quadrato*, con cui si sono stabilite altre unità maggiori per le grandi estensioni geografiche e per quelle agrarie. Così si ha il miriametro quadrato equivalente a 100 chilometri quadrati, il chilometro quadrato equivalente a 100 ettometri quadrati, ecc. ecc.; parimenti il decimetro quadrato equivalente alla 100ª parte d'un metro quadrato, il centimetro quadrato equivalente alla 100ª parte del decimetro quadrato ecc. ecc. Ma per le misure agrarie si è preso per unità il quadrato che ha un decametro o dieci metri di lato, cui si è dato il nome di *aro* o di *ara*, e si è fatto di esso qualche multiplo e submultiplo, come nel seguente prospetto.

Misure agrarie metriche.

Ettaro (ettometro quadrato) o *tornatura* (*metrica*) equivalente ad ari 100 ossia metri quadr.				1000
Aro (decametro quadrato) o *tavola* (*metrica*)	1	»	»	100
Centaro (metro quadrato)	0,01	»	»	1

43. L'unità di misura per le cose voluminose e per le capacità ha pure per fondamento il metro. Si adopera in generale per le misure di questa specie il metro cubo, il quale ha per suddivisioni il decimetro cubo, il centimetro cubo e il millimetro cubo, ciascuna delle quali è la millesima parte della precedente: così il decimetro cubo è un millesimo d'un metro cubo, il centimetro cubo un millesimo del decimetro cubo, ecc. Per la misura delle cose voluminose nelle contrattazioni sociali, come legna da ardere, fieno, paglia e simili, si è dato al metro cubo il nome di *stero*, e di esso si è fatto qualche multiplo e submultiplo aggiungendo alcune delle particelle su indicate (§. 41).

Misure di volume metriche.

Decastero	metri	cubi	10
Stero.	»	»	1
Decistero	»	»	0,1

Per la misura dei liquidi ed alcuni semiliquidi, come i grani e simili, si è adottato per unità il decimetro cubo, la quale si è chiamata *litro*, di cui, colle solite particelle, si sono fatti i multipli e submultipli esposti nel seguente quadro, nel quale poniamo i nomi equivalenti adottati in qualche Stato d'Italia.

Misure di capacità metriche.

Chilolitro (cubo di un metro di lato equivalente in volume allo *stero*)	decim. cubi	1000
Ettolitro o *soma (metrica)*	»	100
Decalitro o *mina (metrica)*	»	10
Litro o *pinta (metrica)*	»	1
Decilitro o *coppo (metrico)*	»	0,1
Centilitro	»	0,01

44. L'unità di peso ha pure un'intima relazione col metro, ed è stata determinata dai fisici con tutta l'esattezza possibile. Il peso d'un litro d'acqua distillata, alla temperatura della sua massima densità o a 4° centesimali, costituisce un'unità di peso. Ma siccome questa unità è un poco grande per formare colle particelle su indicate i nomi di multipli e submultipli comodi per gli usi delle scienze e delle arti e per quelli della società; così si è presa per unità fondamentale della nomenclatura dei pesi la millesima parte di quella quantità d'acqua, ossia il peso d'un centimetro cubo d'acqua pura al grado indicato della sua massima densità. Il peso d'un centimetro cubo di quest'acqua si è chiamato *grammo* o *gramma*, i cui multipli e submultipli sono esposti nel seguente quadro, nel quale si trovano anche i nomi equivalenti usati in qualche Stato italiano, e quelli di due multipli adottati nel commercio marittimo ed all'ingrosso.

Pesi metrici.

Tonnellata (metrica) o *migliaio*	chilogr.	1000
Quintale (metrico) o *centinaio*	»	100
Miriagrammo o *rubbo (metrico)* o *decimo di quintale*	»	10
Chilogrammo o *libbra (metrica)*	»	1
Ettogrammo od *oncia (metrica)*	»	0,1
Decagrammo o *grosso (metrico)*	»	0,01
Grammo o *denaro (metrico)*	»	0,001
Decigrammo o *grano (metrico)*	»	0,0001
Centigrammo o *decimo di grano metrico*	»	0,00001
Milligrammo o *centesimo di grano metrico*	»	0,000001

45. Le monete universali conosciute in tutto il mondo incivilito hanno per unità una grandezza, che ha per fondamento il chilogrammo e quindi il metro. Primieramente si è stabilita la qualità o, come si dice, il titolo dell'argento con cui deve essere formata l'unità di moneta, e si convenne che il metallo monetario dovesse essere composto di 9|10 di fino o argento puro ed 1|10 di lega. Di questa

Digitized by Google

composizione fatta di 9|10 d'argento puro e di 1|10 di rame si è presa la quantità equivalente in peso ad un chilogrammo e la duecentesima parte di questa quantità di metallo costituisce la *lira metrica*, detta anche *franco*, *lira italiana*, *lira nuova* di Piemonte ecc. La lira metrica è quindi del peso di cinque grammi.

La lira ha delle suddivisioni e dei multipli conosciuti nelle contrattazioni sociali e nel commercio sotto il nome di pezzo da 5 lire o *scudo*, da 2 lire, da 50 centesimi, da 25 centesimi ed anche da 75 centesimi, che sono d'argento collo stesso titolo dell'unità monetaria e del peso in proporzione del loro valore. In Francia e nel cessato regno d'Italia si sono altresì coniati dei decimi di lira o dei pezzi da 10 centesimi formati di una lega d'argento del titolo soltanto di 2|10 di fino e del peso di 2 grammi. Vi sono pure pezzi di rame del valore di 5 centesimi di lira detto anche *soldo*, di 3 centesimi e di 1 centesimo. Il soldo è esattamente del peso d'un decagrammo, e gli altri pezzi in proporzione del loro valore. Le monete d'oro, che sono pure composte, come quelle d'argento, di 9|10 di fino oro e di 1|10 di lega, hanno un rapporto esatto coll'unità di peso. Vi sono pezzi da 20 lire formati di quest'oro monetario, 155 dei quali formano in peso un chilogrammo. Si sono coniati in Francia, nel cessato regno d'Italia, nel regno Sardo e nel ducato di Parma e Piacenza pezzi da 40 lire del doppio peso di quelli da 20 lire; e in alcuni di questi Stati, pezzi da 100, 80, 50 lire e 10 lire con un peso in proporzione. Da quanto si è esposto è facile intendere il seguente quadro delle monete, nel quale si è aggiunto il loro diametro in millimetri.

	Valore.	Numero dei pezzi per fare 1 chilog° in peso.	Diametro in millimetri.
Rame	1 cent.	500	19
	3 »	166 2|3	23
	5 » (soldo)	100	28
	10 » (con 1|5 d'argento)	500	19
Argento	25 cent.	800	15
	50 »	400	18
	1 lira	200	23
	2 lire	100	27
	5 » (scudo)	40	37
Oro	10 lire	310	18
	20 »	155	21
	40 »	77 1|2	26
	50 »	62	27
	80 »	38 3|4	33
	100 »	31	35

Digitized by Google

Con queste relazioni di peso e di valore si possono facilmente conoscere i rapporti esatti dei valori del rame monetario coll'argento e coll'oro pure monetarii. Infatti un chilogrammo di rame vale 5 lire, un chilogrammo d'argento 200 lire ed un chilogrammo d'oro 3100 lire. Talchè il rame, l'argento e l'oro monetarii stanno per rispetto ai loro valori nel rapporto di 5 a 200 a 3100; e quindi l'oro ha un valore equivalente a 15 volte e mezzo quello dell'argento, a 620 volte quello del rame, e l'argento un valore uguale a 40 volte quello del rame. Osserviamo altresì che, per l'esatta relazione delle monete coi pesi, si potrebbe, in mancanza di questi ultimi, far servire le monete. Il soldo infatti ed anche il pezzo da 2 lire risulterebbe ciascuno esattamente di un decagrammo; e così combinando parecchie monete, anche di diversa specie, si possono avere i pesi metrici. Parimenti, in mancanza del metro, si potrebbe esso ottenere mettendo in linea retta i diametri d'un certo numero di monete: disponendo in linea retta 10 pezzi da un centesimo, 10 da tre centesimi, 10 scudi e 10 pezzi da 20 lire, si ha in lunghezza appunto un metro.

46. La *figurazione* è la proprietà dei corpi d'avere qualche forma o figura. I limiti dell'estensione costituiscono la figura dei corpi; e quindi tutti i corpi sono figurati e sono dotati della proprietà della figurazione. Questa proprietà conviene, non solo ai solidi, ma eziandio ai fluidi liquidi ed aeriformi, non solo alle grandi, ma anche alle piccole masse, alle molecole ed ai singoli atomi. I fluidi in massa prendono la loro figura dagli ostacoli che si oppongono al loro spandimento, ossia dalla forma della capacità dei vasi in cui si contengono. I grandi ammassi d'acqua dei mari, dei laghi, degli stagni e dei fiumi ripetono la loro figura da quella dei bacini stessi in cui riposano, e dai canali dove si contengono e scorrono, nella stessa maniera che una quantità di vino ha la forma della botte e del vaso in cui si conserva. Una massa vaporosa, come una nube, ha una figura determinata dall'aria circostante in cui galleggia; ed un gas qualunque prende la sua figura dalla forma della capacità del recipiente, dove è rinchiuso.

47. Allorquando col mezzo del calorico o con qualche altro agente si è annullata l'azione dell'attrazione molecolare, se si sottrae gradatamente questo agente in modo che l'attrazione stessa possa riprendere la sua attività in un modo regolare e non a sbalzi, le molecole del corpo stesso si dispongono e si raggruppano sotto forme regolari, che diconsi *cristalli* (§. 28). Un gran numero di corpi inorganici presentano in tal maniera delle figure regolari e determinate, e danno

quindi a divedère esservi una forza (l'attrazione molecolare) sottoposta a leggi costanti, che hanno la loro misura e i loro limiti. La figurazione del cristallo varia secondo la qualità della materia, e ciascuna delle materie si cristallizza sotto forma determinata e prende una propria figurazione. Appartiene alla mineralogia d'indagare la figurazione dei corpi inorganici. Si potrebbe quindi inferire che gli atomi di diversa natura abbiano anche figure differenti, giacchè riuniti danno luogo ad una massa di differente forma. Verun fatto diretto concorre però a confermare adequatamente un tale raziocinio, per quanto questo contribuisca a primo aspetto a convalidare una tale opinione. Anzi alcuni opinano che gli atomi elementari delle diverse materie siano tutti dotati di ugual figura, che sarebbe la sferica.

48. Nei corpi organici le forme, quantunque grandemente moltiplicate, sembrano essere state definitivamente stabilite dalla volontà del Creatore; esse si perpetuano costantemente per la generazione, senza che alcuna circostanza esteriore possa portarvi verun cangiamento notabile e provocarne delle nuove. Nei corpi bruti, al contrario, le forme sembrano essere state regolate soltanto in una maniera generale, e in certo qual modo per nulla abbandonare nel mondo all'azzardo.

I corpi organici, per gli umori che circolano e s'insinuano nei loro tessuti, e vengono preparati continuamente dagli organi cogli alimenti di cui si nutriscono, aumentano di volume in ogni loro parte. In questo sviluppo d'ordinario non si determina alcuna modificazione nella forma e disposizione degli organi stessi, in modo che il corpo conserva costantemente la stessa forma e le stesse parti esterne, che possedeva alla sua nascita. Alle volte invece si determinano e si preparano cangiamenti di figura e di parti, che si manifestano esteriormente ad epoche fisse nella stessa specie e sempre nella stessa maniera. Egli è bensì vero che anche nei corpi inorganici l'aggregazione talvolta delle particelle addittive si fa in modo che il piccolo solido, che serve di nucleo, si accresce, senza cangiare di forma, per istrati successivi, che lo inviluppano da ogni parte; mentre in altri casi essa ha luogo in maniera che ne risulta ben tosto una forma differente dalla primitiva, e sovente anche forme successive diverse. Ma tutto questo avviene in differente modo di quello dei corpi organizzati, poichè i cangiamenti non si fanno nè in epoche fisse, nè in una maniera costante; essi sono stati determinati da circostanze accidentali, e in parecchie sostanze possiamo

provocarne delle particolari. I corpi organici d'altronde si accrescono per nutrizione interna, mentre negl'inorganici il loro accrescimento è accidentale e si fa soltanto per sovrapponimento.

49. La figurazione serve molto alla storia naturale per la classificazione dei corpi (§. 6); giacchè la loro figura è un carattere distintivo degli individui di diversa specie, e giacchè si può quasi dire che si diano tante figure differenti quante sono le specie di corpi che si trovano nell'universo. Egli è con ciò che i Naturalisti distribuiscono i corpi organici ed inorganici in tante particolari *famiglie*, in ciascuna delle quali gl'individui hanno e conservano fra loro una certa rassomiglianza o di forma o di figura, essendovi invece una grande differenza fra l'una e l'altra famiglia. Queste famiglie sono appunto le *specie* dei Naturalisti.

50. Dicesi *incompenetrabilità* l'attitudine che ha un corpo di escludere la coesistenza di un altro nello stesso luogo.

Questa proprietà è generale: imperocchè, se un corpo potesse occupare nello stesso tempo il luogo in cui si trova un altro, bisognerebbe che l'uno o l'altro di questi corpi cessasse d'esistere e fosse nulla l'estensione di lui, lo che è impossibile.

51. Quantunque il raziocinio c'istruisca essere questa una proprietà generale a tutti i corpi, nullostante l'esperienza in fisica deve sempre essere consultata (§. 30). Essa c'insegna in fatti che, volendo noi collocare un corpo nel luogo già occupato da un altro, proviamo una difficoltà, la quale può sembrare sul principio debole, ma che termina per essere insuperabile. Parimenti, ponendo la mano sui corpi che ci circondano, si trova che non può identificarsi con essi e coesistere nello stesso luogo dello spazio. Ma forse non ci parla così chiaro intorno ai fluidi. Io immergo senza nessuna difficoltà la mia mano nell'acqua contenuta in un vaso; io mi muovo senza nessun ostacolo nell'aria: sicchè non mi pare a un tratto essere questi fluidi incompenetrabili. Riflettendo però attentamente si conosce non essere già che l'acqua colla mia mano e l'aria col mio corpo si siano compenetrati, ma essere bensì la grande cedevolezza delle particelle acquee ed aeree, per la loro pochissima coesione, che permette alla mia mano ed al mio corpo di occupare il loro posto. Se fosse altrimenti, la mia mano ed il mio corpo non sentirebbero alcuna resistenza movendosi con velocità in questi fluidi; l'acqua non si alzerebbe e non uscirebbe dal vaso pieno della stessa. In generale dove vi ha *resistenza* v'è *incompenetrabilità*; e nel linguaggio comune si suole confondere l'una coll'altra, quantunque la prima sia l'effetto e la seconda la causa.

L'esperienza poi ci convince anche che i corpi, la cui esistenza ci esclude da certi punti dello spazio, si escludono mutuamente. In fatti l'aria, che si trova in un fiasco a collo stretto, impedisce per la sua incompenetrabilità l'entrata al liquido che nel medesimo si cerca d'introdurre. Per rendere più evidente questa verità, si suole prendere una campana di vetro, la quale colla sua bocca rivolta verso il basso s'immerge verticalmente in un vaso pieno in parte d'acqua, sulla cui superficie galleggia un cerino acceso collocato sopra una laminetta di sovero: allora si osserva che, per quanto si sprofondi la campana, l'acqua non sale a spegnere il cerino; perchè l'aria, in virtù della sua incompenetrabilità, esclude l'acqua che tende a comprimerla. Potendosi simili esperienze istituire su tutti i fluidi tanto liquidi, quanto aeriformi, ne verrà che anche sperimentalmente si deve ritenere l'incompenetrabilità come proprietà generale (§. 33, III).

52. L'*incompenetrabilità* differisce dall'*impenetrabilità*, quantunque nel parlare comune soglionsi confondere queste due idee, e prendere l'una per l'altra. Nell'impenetrabilità basta che un corpo non possa internarsi ed aprirsi uno spazio fra le molecole d'un altro corpo, vincendo la forza di coesione da cui sono tenute unite e spostandole coll'allontanarle le une dalle altre. Il legno, per es., non è impenetrabile pel ferro, potendo un chiodo rimoverne le molecole ed internarsi in un asse. Non può però occupare contemporaneamente il luogo delle molecole stesse; talchè in questo caso havvi una disgregazione di parti e non una compenetrazione. Al contrario il ferro è impenetrabile dal legno, come è anche incompenetrabile. Vi ha dunque della materia che è inseparabile da un'altra, cioè impenetrabile; e l'atomo elementare non può essere penetrato da qualunque corpo. Dove v'ha materia continua ed inseparabile, vi è impenetrabilità; e dove materia discontinua e separabile si trova penetrabilità.

53. L'*impermeabilità* è una specie d'impenetrabilità. Essa è propria del tessuto di certi corpi, i quali impediscono il passaggio ad alcuni fluidi: così alcune stoffe non si lasciano attraversare dall'acqua, e perciò per rispetto a questa materia sono impermeabili; un leggero velo coperto di uno strato di vernice di gomma elastica lascia passare il fluido luminoso, ma è impermeabile all'acqua; il taffettà ben gommato è impermeabile al gas idrogene, e gli areostati a gas sono appunto costrutti di questa stoffa. I metalli sotto le pressioni ordinarie sono impermeabili all'acqua ed al mercurio.

54. Da queste proprietà nascono le idee di *coercibilità* e di *inocer-*

cibilità. Si dicono coercibili quelle sostanze, che si possono prendere e rinchiudere in vasi, senza che fuggano a traverso le pareti da cui sono ritenute. Tutti i corpi ponderabili sono dotati della coercibilità; e non solo i solidi ed i liquidi, ma anche i fluidi aeriformi sono coercibili. L'acqua si rinchiude e si conserva in recipienti di vetro, di maiolica, di metallo ecc.; l'aria e qualunque altro gas in recipienti di vetro, di piombo, in vesciche e simili, e le esalazioni odorose in recipienti di vetro ecc. La *coercibilità* dipende dall'incompenetrabilità e partecipa dell'impermeabilità. Le sostanze imponderabili al contrario, sono in generale incoercibili (§. 11).

55. Sull'incompenetrabilità dell'aria è fondata la costruzione della *campana urinatoria* o dei *palombari*, di cui questi si servono per discendere al fondo del mare. Essa consiste in una campana della forma delle comuni, costrutta di forti doghe di legno e contrappesata inferiormente in modo che possa sprofondarsi verticalmente nell'acqua dalla parte dove è aperta; e starvi seduto comodamente un uomo. Si fanno anche di ferro e di ghisa d'altra forma. La campana de' palombari fatta costruire da Halley, aveva la capacità di metri cubi 1,70. Payerne, in alcune sperienze recentemente istituite (1) ha fatto uso di una campana della capacità di metri cubi 1,41. Se l'aria non fosse incompenetrabile, l'acqua salirebbe nella campana fino a toccarne la sommità e soffocherebbe la persona che in essa si trova. È bensì vero che l'uomo respira nella medesima un'aria tanto più densa, quanto più la campana si abbassa sotto il livello del mare, ma l'acqua non arriva però a compenetrarsi coll'aria.

Per avere un'idea del modo con cui la campana de'palombari viene calata nelle acque, si può osservare la figura 1, dove si rappresentano due battelli con un contesto di traverse ed una rotella munita d'una scanalatura in cui entra una fune, che porta appesa la campana. Lasciando gradatamente libera la fune, l'apparato urinatorio si abbassa e si sommerge nell'acqua col palombaro, che vi siede dentro, sino alla profondità desiderata.

56. Vi sono alcuni fatti che sembrano opporsi all'incompenetrabilità della materia. Il volume d'una mescolanza di alcuni corpi risulta in certi casi minore della somma dei volumi presi separatamente: ciò che potrebbe essere un argomento per dedurre che i corpi non sono sempre incompenetrabili. Noi parlando della porosità spiegheremo simili fenomeni, che sembrano opporsi all'incompenetrabilità.

(1) Vedi *Annali di Fisica, Chimica ecc.*, di Majocchi, T. I, pag. 321.

by Google

57. Le tre proprietà *estensione*, *figurazione* ed *incompenetrabilità* risultano i veri testimoni, che ci accertano della materialità delle cose; e sono sì necessarie ad un tale concetto che alcuni definiscono il corpo tutto ciò che è *esteso*, *figurato* ed *incompenetrabile*. Egli è per ciò che questi tre attributi della materia, si dicono *proprietà essenziali* (§. 37). Questa verità verrà più chiara con qualche esempio.

La mano stesa nell'oscurità incontra un ostacolo che le impedisce d'avanzarsi: la mano scorre su questo ostacolo, e trova che è limitato, che termina in certi luoghi, che ha principio in altri, che d'intorno a lui lo spazio è libero, e che non permette alla mano stessa d'occupare il posto di lui contemporaneamente. Perciò io concludo che questo ostacolo esiste fuori di me in una certa porzione dello spazio, dalla quale la sua esistenza m'esclude. Per questo motivo io chiamo questo ostacolo un *corpo*. Il primo di questi fenomeni, la limitazione, è il carattere dell'*estensione* (§. 39) e della *figurazione* (§ 46); il secondo, l'esclusione degli altri corpi, è il carattere dell'*incompenetrabilità* (§. 50).

Sogno e mi vedo avanti una terribile figura che è sul punto di afferrarmi pel collo ed uccidermi: preso da spavento, stendo le braccia per respingerla; e scorgo che le mie mani non trovano ostacolo alcuno. Mi acquieto tosto, perchè non ho scorto in quella figura il carattere principale di corpo, l'incompenetrabilità, sicchè conosco che non è un personaggio reale, ma bensì un'illusione della mia mente, un fantasma. Questo prova che, quantunque la vista sia uno dei principali giudici per conoscere l'esistenza della materia, essa però ha alle volte bisogno del tatto per non essere ingannati ne'nostri giudizii (§. 1).

Noi apprendiamo nello stesso modo sin dall'infanzia che l'imagine, prodotta da uno specchio, non è un ente reale, ma imaginario. Al contrario una bestia, che talvolta non si trova in grado di correggere quest'illusione ottica coll'esperienza dell'incompenetrabilità, prende per un oggetto corporeo l'imagine, che le si presenta nello specchio: vi sono infatti parecchi animali, che, nel mirare entro l'acqua l'imagine di se medesimi o di oggetti circostanti, si adombrano. È noto inoltre quanto avvenne in Milano ad un cavallo spaventato, il quale, andando a furia pel corso di Porta Romana verso la piazzetta di S. Giovanni alla Conca, giunto vicino alla bottega di caffè posta sull'angolo verso il fine del corso medesimo, osservò nelle grandi lastre a specchio delle pareti di contro alla bottega l'imagine del corso medesimo e gli sembrò che continuasse la via: tro-

rando quindi libera la porta, entrò nella bottega e si slanciò contro lo specchio per progredire nel suo cammino.

58. Chiamasi *poro* quell' interstizio fra molecola e molecola vuoto della materia propria del corpo; e *porosità* è la proprietà che hanno i corpi d'essere forniti di questi interstizii e di essere in tal modo bucherati nell'intera loro massa.

Il calorico contrastando incessantemente l'affinità non permette alle molecole dei corpi un contatto perfetto (§. 8.), e fa che fra esse si trovino sempre dei pori. Siccome poi tutti i corpi che conosciamo contengono più o meno del calorico, come avremo occasione d'esaminare; così ne viene che la porosità è una proprietà generale a tutti i corpi (§. 33, III). In fatti quando si levi ad un corpo del calorico, cioè il si raffreddi, esso si restringe: la qual cosa prova che fra le sue molecole trovavansi dei piccoli interstizii, che hanno alle medesime permesso di avvicinarsi.

59. I pori si vedono ad occhio disarmato nelle *spugne*, nella *pomice*, in parecchie *stoffe*, nel *sovero*, in altri legni, ecc. I legni, tagliati in sottilissime laminette mediante il coltello microtomo, presentano all' occhio nudo una moltitudine di pori. In alcuni corpi è necessario il microscopio per ravvisarli. Così i metalli, il diamante e i corpi che ci sembrano i più compatti, veduti col microscopio, si presentano allo sguardo con una moltitudine di pori.

60. Una prova della porosità dei corpi si è che in molti di essi s'internano dei fluidi. Così nella carta e nei legni s'introduce l'acqua e l'olio; nell'oro, nell'argento ed in altri metalli s'interna il mercurio. Il mercurio trapela a traverso i pori del piombo, in un modo somigliante a quello dell'acqua che entra pei canaletti di uno stame di cotone, e scola al basso dall'estremità opposta della verghetta di quel metallo (1). Nei marmi stessi s' insinuano dei fluidi. Di questa proprietà le arti si servono per colorire i marmi (2). Il principe di Sansevero di Napoli ha abbellito la sua casa e la cappella contigua con marmi, che somigliano alle pietre più dure per rispetto ai colori che il medesimo principe ha prodotto coll' arte.

Parecchi altri esempi si hanno di sostanze fluide che entrano nei pori dei corpi solidi. Tra le pietre silicee, come le agate, la pietra focaia ecc. ve ne ha una detta *idrofana*, la cui porosità si manifesta

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. IV, pag. 122.

(2) Chi bramasse mettere in pratica un tal metodo, veda gli *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. II, pag. 213.

in un modo singolare. L'idrofana, nel suo stato ordinario, è semitrasparente; se s'immerge per un istante nell'acqua e poscia si ritiri, essa diventa quasi trasparente come il vetro. L'acqua ha penetrato la massa di quella pietra, come l'olio penetra la carta; le bolle d'aria, che ne sortono, mostrano il progresso dell'assorbimento. La creta e tutte le pietre calcari, assorbono l'acqua nei loro pori. Nei marmi e nelle pietre s'introduce anche l'acqua sotto forti pressioni, ed è perciò che i sassi, che si traggono dal fondo dei laghi e del mare, sono umidi nell'interno della loro massa. Il carbone di legno è molto poroso, ed appunto perciò attrae dentro i suoi interstizii dei fluidi aeriformi, e principalmente l'acido carbonico. Lo zucchero, che s'infonde nell'acqua, emette molte bollicine d'aria per l'insinuazione di quel liquido nei pori della massa zaccarina, che alfine si scioglie.

61. Per provare come i pori del legno siano in tale numero da lasciare adito al mercurio, si suole istituire nelle scuole l'esperienza seguente. Si prende un vaso di legno fatto in maniera che con esso si possa chiudere a tenuta d'aria la bocca d'un recipiente di vetro aperto da ambedue le parti: se nel detto vaso si versi del mercurio e poscia, mediante la machina pneumatica, si estragga l'aria contenuta nel recipiente; si vedrà il mercurio, sforzato dal peso dell'aria esterna sovrincumbente, attraversare i pori del legno cadendo nel recipiente a somiglianza di *pioggia d'argento* (1). Succede lo stesso fenomeno se l'apertura superiore del recipiente di vetro è chiusa da una pelle delle più compatte, per esempio da quella di bufalo, disposta in modo da potervi porre del mercurio al di sopra. Il legno è altresì attraversato dall'aria: per mostrare questo fenomeno, si chiude il recipiente di vetro con un tappo, che, prolungandosi inferiormente, s'immerge nell'acqua contenuta in un bicchiere. Al momento che si fa il vuoto, l'aria esterna prevale per la sua pressione sull'elasticità di quella interna rarefatta, e passa pel tappo di legno apparendo in corcute sotto forma di bollicine attraverso il liquido.

62. Una forte compressione può costringere l'acqua a passare pei pori dei metalli i più densi. Egli è ciò che ha provato la sperienza degli academici del Cimento, nella quale l'acqua, rinchiusa in una sfera cava d'argento che si è compressa con grande forza, si vide tra-

(1) E appunto all'appoggio della porosità che si è trovata la maniera di conservare e colorare i legni, insinuando in essi certe sostanze in soluzione, le quali danno loro tali proprietà (V. *Annali di fisica* ecc., di Majocchi tom. II, pag. 81; tom. IV, pag. 216; tom. VIII, pag. 222; tom. IX; pag. 223 e tom. X, pag. 321)

pelare a traverso quel metallo. A dir vero questa sperienza era diretta ad esaminare la compressibilità dell'acqua. Alcuni altri fisici ripeterono l'esperienza con palle cave formate di piombo, di stagno e di altri metalli, e l'acqua trapelava pure dei pori di questi corpi, formando alla loro superficie come una finissima rugiada (1). Hombery fece passare varie soluzioni attraverso i pori del ferro, dell'argento e di altri metalli, senza alterare queste materie (2). L'acqua attraversa il grès nelle fontane destinate a purgare quel liquido dalle sostanze straniere; e nelle grotte filtra naturalmente per le pareti, dove evaporizzandosi deposita le materie tenute in soluzione e forma le stalattiti e tutte le altre cristallizzazioni.

63. Si ha un'altra prova della porosità dei corpi, osservando che tutti contengono dell'aria. Di fatto immersi diversi corpi, anche dei più compatti, come oro, acciaio, ferro, diamante, ecc. nell'acqua contenuta in un bicchiere di vetro, e il tutto collocato sotto al recipiente pneumatico nel quale si fa il vuoto, si vedranno tante bollicine d'aria uscire dai detti corpi e portarsi alla loro superficie.

64. Nella precedente sperienza l'aria esce dai corpi in virtù della sua espansibilità, che può avere il suo effetto nel vuoto fatto sotto il recipiente pneumatico (§. 10). I liquidi, cimentati nella stessa maniera dei solidi, emettono pure l'aria annidata nei loro pori. Si versi in una larga cassula della *birra*, del *latte*, dell'*alcoole*, dell'*acqua* ecc., e si ponga sotto la campana pneumatica in cui si fa il vuoto. A misura che l'aria nella campana viene rarefatta, compariscono alla superficie del liquido delle bolle d'aria. Lo sviluppo dell'aria è più pronto se il liquido è un poco tiepido. Nei liquidi viscosi, le bolle d'aria formano delle vescichette, che costituiscono la schiuma.

L'aria si può espellere da un liquido anche coll'insinuazione d'altro liquido, come si è veduto nei solidi (§. 60). Si prende un tubo di vetro chiuso ad un'estremità, della lunghezza di circa 25 centimetri e del diametro di 7 in 8 millimetri; si empisce la metà di esso d'acqua pura, e l'altra metà interamente d'alcoole rettificato, versando l'alcoole con cautela in modo che i due liquidi stiano per un momento l'uno separato dall'altro. Chiuso il tubo con un dito, si capovolga per far succedere il rimescolamento dei

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, tom. II, pag. 221.
(2) *Mémoires des Sciences de l'Académie de Paris*, 1713.

due liquidi: in questo rimescolamento l'alcoole s'insinua nei pori dell'acqua e ne espelle l'aria, la quale si manifesta in una moltitudine di bollicine, che intorbidano la mescolanza liquida, e poscia salgono lentamente alla sommità del tubo. In questa penetrazione d'un liquido nei pori dell'altro, i due fluidi si riuniscono sotto un minor volume, che può essere valutato di circa 11/12 della somma dei due primitivi.

65. È in causa di questa insinuazione, d'una materia nei pori d'un'altra, che spiegansi molti fenomeni (§. 56), nei quali sembra succedere una vera compenetrazione contraria ai principii esposti (§. 50). Così mescolando un bicchiere d'acqua ed un bicchiere di cenere, si forma un composto del volume di poco più d'un intero bicchiere. Unendo per mezzo della fusione egual quantità di rame e di zinco, con cui si compone l'ottone, il volume totale è di 1/10 minore della somma dei volumi rispettivi del rame e dello zinco. Molti altri esempi si presentano di queste apparenti compenetrazioni, che succedono tutte in virtù della porosità della materia.

66. Dalla porosità dipende la spiegazione di parecchi fenomeni. Le uova si conservano nell'economia domestica per molto tempo senza corrompersi, tenendole immerse in un liquido o in sostanze liquefatte. Queste sostanze chiudono i meati del guscio, ed impediscono lo scemamento della materia interna dell'uovo, e la sua corruzione per l'azione degli agenti esterni. Dipendente dallo stesso principio è la pratica adottata da qualche Naturalista di verniciare le uova di uccelli esotici, per trasportarli in viaggio senza pericolo che si guastino e si consumino, onde ottenere lo sviluppo dei pulcini nel proprio paese e in un clima differente. I legni, che devono stare esposti alla umidità, si verniciano per impedire che, insinuandosi nei loro pori l'acqua, si alterino nelle loro dimensioni e sfigurino nelle loro forme i lavori.

67. Molte sostanze nel diseccare, per la loro porosità, perdono di massa senza diminuire di volume, come succede delle materie organizzate morte. Gli animali ed i legni si pietrificano in virtù di soluzioni minerali, che s'infiltrano pei loro pori dentro la massa e ne penetrano tutte le fibre. L'arte d'imbalsamare dipende da questi principii, e celebri sono le mummie di Venzone nella provincia d'Udine, le quali, per le sostanze che naturalmente hanno ricevuto nei loro pori, sono divenute incorruttibili, e dagli agenti esterni non sono putrefatte.

I filtri, di cui si servono le arti nelle loro operazioni e la chimica nelle sue indagini sperimentali, altro non sono che corpi porosi, i cui meati sono abbastanza grandi per lasciare il passaggio ai liquidi, ed assai piccoli per impedirlo alle molecole solide eterogenee, che si trovano con essi mescolate. La carta, le pelli, i tessuti, il carbone ed altre materie servono di filtri nelle arti e nelle scienze sperimentali.

68. I due regni, animale e vegetale, offrono esempi sorprendenti della porosità nelle funzioni e nelle operazioni vitali degli esseri organici. Infatti una pianta, un albero, un animale non sono in origine che germi di piccolissimo volume. A misura che crescono in età e vivono, essi si sviluppano nelle loro parti interiori e in quelle esteriori; la qual cosa prova che sostanze tenuissime circolano pei loro canaletti e pei loro vasi, e s'internano fra le loro fibre portando ovunque nutrimento e vitalità, con cui quegli esseri aumentano di volume nelle loro differenti parti.

La porosità nei corpi viventi non è accidentale nè irregolare, nè le loro particelle sono confusamente aggregate come in un mucchio d'arena; ma tutto è disposto in modo da adempiere a certe funzioni, a certi fini, diretti a mantenere la vita e ad accrescere quegli esseri. I corpi organici morti conservano ancora la disposizione vascolare e lo stato poroso; ma i fluidi differenti, che si trovano in essi, non essendo più sollecitati nè diretti dalle forze vitali, penetrano e s'infiltrano indistintamente attraverso tutti i pori, che loro si presentano, e poscia esalano e si dissipano nell'atmosfera; ed è appunto per queste esalazioni che i legni diseccano. In certe circostanze i fluidi stessi si confondono e si mescolano assieme, producendo una fermentazione, che disorganizza quei corpi, obbedendo in ognuno di questi casi alla sola forza d'affinità. Le ossa animali non sono altro che un tessuto di cellule e di compartimenti, che si ravvisano ad occhio nudo allorquando sono essiccate.

69. La cute umana e la pelle degli altri animali sono sparse d'una grande moltitudine di quei pori, pei quali si fa la così detta traspirazione cutanea, in virtù di cui ne sortono quelle parti degli alimenti che non concorrono alla nutrizione, e che non passano in secrezione ordinaria. Oltre la traspirazione sensibile, che chiamasi sudore e che è accidentale, ne succede una insensibile, che più o meno agisce in ogni istante, e che non avremmo mai imaginato essere così abbondante prima delle sperienze del celebre medico padovano Santorio. Questo fisico ha avuto la pazienza di passare una parte della

sua vita sopra una bilancia per valutare le perdite cagionate dalla traspirazione cutanea. Egli trovò che noi perdiamo, nello spazio di 24 ore, all' incirca i 5/8 dell' alimento che abbiamo preso. Avendo però riguardo alla perdita che succede in virtù della traspirazione polmonare, e seguendo le sperienze di Seguin e di Lavoisier, secondo le quali la traspirazione cutanea sta alla polmonare nella ragione di 7 ad 11, ne viene che 7/18 parti di questi 5/8 sono dovute alla traspirazione cutanea, ed 11/18 alla polmonare, cioè che 35/144 o con molta approssimazione 2/8 dell' alimento totale si perdono in virtù della traspirazione cutanea, e 55/144 o 3/8 in causa della respirazione; mentre gli altri 3/8 servono alla nutrizione, e per la maggior parte vanno in secrezione ordinaria. Le traspirazioni cutanea e polmonare però variano secondo l'età, la costituzione della persona, la stagione ed il clima (1). La traspirazione insensibile si manifesta con un odore più o meno penetrante, il quale può dipendere anche da sostanze che la persona ha prese dentro di sè. Di fatto, se per alcune mattine si prenda qualche grammo di solfo polverizzato, dopo pochi giorni gli abiti della persona che l'ha preso spargeranno un odore solfureo, e la biancheria diventerà di color giallognolo, a malgrado che venga di sovente cambiata. Questa traspirazione insensibile è così necessaria alla vita animale, che non può essere di molto diminuita senza nuocere alla nostra salute. Di fatto da una traspirazione sospesa o impedita provengono i reumi, le flussioni, i raffreddori ed altre simili malattie, alle quali siamo soggetti passando da una temperatura calda ad un'altra molto fredda. Gli animali letargici, come sono le marmotte, i ghiri, che vivono molto tempo immersi in un profondo sonno senza prendere alcun nutrimento, ripetono la loro esistenza in questo stato di torpore dalla traspirazione sospesa o almeno resa molto lenta.

70. Secondo Leeuwenhoek nella lunghezza di un millimetro della nostra cute si possono ravvisare col microscopio circa 55 forellini: cosicchè ve ne saranno 3025 in un millimetro quadrato: ed essendo un metro quadrato un milione di millimetri quadrati, ne viene che un metro quadrato della nostra cute conterrebbe 3025 milioni di pori. Siccome poi la superficie totale del corpo d' una persona di media statura si valuta di metri quadrati 1,50, così la cute d' un uomo conterrà 4537 1/2 milioni di pori. Appunto i 2/8 dell' alimento, che

(1) Si vegga su tale argomento gli *Annali di fisica, chimica, ecc.*, di Majocchi, tom. XVI, pag. 25.

prendiamo, si disperde per questo grandissimo numero d'interstizii, e produce la traspirazione cutanea insensibile.

71. Un'altra proprietà generale è l'*attrazione*, la quale consiste nella tendenza che hanno due o più corpi d'avvicinarsi scambievolmente gli uni agli altri. Questa tendenza viene designata con un tal nome, perchè gli effetti succedono come se nei corpi o nelle molecole risiedesse la proprietà di mutuamente attrarsi.

L'attrazione prende differenti nomi, secondo la situazione e il modo di esistenza delle materie fra le quali essa succede. Chiamasi *attrazione molecolare* detta altrimenti *affinità* e *coesione*, se essa ha luogo fra le molecole formanti i corpi; dicesi *attrazione terrestre* o *gravità* quando succede fra un corpo circumterrestre ed il nostro globo; nominasi finalmente *attrazione astronomica* o *gravitazione*, quella che esercitano fra loro gli astri e tutti i corpi che si trovano nell'immenso spazio dell'universo. Per queste tre specie d'attrazione adunque: 1° le molecole vengono legate insieme per formare i corpi (§. 8), e ne ricevono consistenza e figura; 2° i corpi appartenenti alla nostra terra o sublunari vi stanno uniti e, se ne sono staccati, tendono sempre a cadere verso la terra medesima; 3° finalmente per l'attrazione vengono congiunti in un tutto immenso ed imponente i grandi globi che spaziano ne'cieli; ed i loro movimenti sono regolati con un ordine mirabile. Se il Facitore del creato togliesse questo legame, tutta la natura tornerebbe nel caos.

72. Siccome tutti i corpi che si possono sottoporre ad esperienze sono dotati della facoltà di attrarsi, così (§. 33, III) si dovrà conchiudere che l'attrazione è una proprietà generale a tutta la materia. Vi sono però delle circostanze in cui i corpi, in vece d'attrarsi, si discostano gli uni dagli altri senza che alcuna causa esterna sembri determinarveli. Lo sforzo che in questo caso esercitano i corpi per allontanarsi scambievolmente venne da alcuni indicato col nome di *ripulsione*. Ma a tali fenomeni si può dare altra spiegazione, come abbiamo già veduto (§. 21), e come avremo occasione di veder meglio in seguito; per lo che è inutile (§. 33, I) ed insieme contrario al buon senso l'ammettere che la materia sia dotata della proprietà di attrarsi e di repellersi nello stesso tempo.

73. Lo studio dell'*affinità* appartiene propriamente alla chimica (§§. 6 e 15); ma essa lo divide colla fisica, poichè in questa dovendosi trattare delle proprietà esterne dei corpi (§. 5), è necessario che si conosca anche la forza che concorre a formarli. Lo studio della *gravità* spetta interamente alla fisica; e quello della *gravitazione*

forma l'oggetto dell'astronomia (§. 6). Pertanto, avendo noi della prima specie d'attrazione fatto cenno nell'introduzione, aggiungeremo quì intorno ad essa soltanto alcune applicazioni che possono essere utili alle arti ed ai mestieri. Della seconda specie, cioè della gravità, ci occuperemo più particolarmente tanto in questa come in altre sezioni. In quanto alla gravitazione, faremo di essa qui qualche cenno, e la vedremo nella sua azione quando parleremo della fisica celeste.

74. Abbiamo detto (§. 15) che l'affinità serve ad analizzare le sostanze composte; eccone alcuni esempi:

I. Versando dell'acido solforico (*olio di vetriolo*) sul nitrato di potassa (*salnitro*), che è un composto di potassa (*alcali vegetabile puro*) e di acido nitrico (*acqua forte*), la potassa avendo più affinità coll'acido solforico che coll'acido nitrico, s'unisce a quella sostanza e forma il solfato di potassa (*sal di tartaro vitriolato*), mentre l'acido nitrico rimane in libertà. In questo modo si trae dal *salnitro* la così detta *acqua forte*.

II. Si prenda del fluato di calce (*spato fluore*), il quale è un composto di calce e d'un acido particolare chiamato fluorico (*spatico*), che ha la proprietà di corrodere il vetro e di sciogliere la silice; se ne ponga in un bacino di piombo una data quantità ridotta in polvere, e se ne faccia con acido solforico un impasto. Riscaldato questo al fuoco, si svilupperanno dei vapori bianchi, di maniera che se sopra il bacino si pone una lastra di vetro, essa perderà tosto la sua politura, e verrà corrosa da sì fatti vapori. In questa operazione la calce, avendo maggior affinità coll'acido solforico che coll'acido fluorico, si è unita al primo a formare il solfato di calce (*gesso*); mentre l'acido fluorico lasciato in libertà dalla calce si sviluppa sotto forma di vapore. Con questo mezzo si possono fare delle incisioni sul vetro. A tal fine esso si deve coprire con uno strato di vernice da incisore oppure di cera; poscia, con un bulino apposito segnato sulla vernice o sulla cera il disegno che si vuol incidere sul vetro in modo che questo nel luogo del disegno rimanga scoperto, si esponga il vetro così disposto all'azione del gas acido fluorico, e si formerà inciso sulla lastra il disegno che si era segnato sulla vernice o sulla cera. La cera o la vernice vengono levate dopo terminata l'operazione.

III. I profumieri, pel carissimo prezzo degli olli volatili (*essenziali*), sogliono adulterarli frammischiandovi degli olii fissi (*grassi*). Quindi volendo sperimentare la purezza dell'olio volatile, si versi nell'olio

dato dell'alcoole (*spirito di vino*). Allora l'olio *essenziale*, per la maggior sua affinità coll'alcoole che coll'olio fisso, si unirà a quello; e l'olio fisso rimarrà a parte senza essere sciolto. Dopo essersi fatta questa separazione, si ponga la soluzione alcoolica coll'olio volatile in un vaso a parte, aggiungendovi eziandio dell'acqua distillata; e si vedrà che l'alcoole, il quale ha più affinità coll'acqua che coll'olio volatile, s'unisce a quella, sicchè resta separato l'olio *essenziale* dall'olio *fisso* cui era unito.

IV. Uno dei componenti la laccamuffa ha cogli acidi un'affinità tale che, versata dell'acqua tinta colla medesima sopra un corpo, indica tosto la presenza dell'acido cambiando il colore azzurro della tintura in rosso per l'unione di quel componente coll'acido.

V. Il gas acido carbonico ha tale affinità colla calce che, versata dell' acqua impregnata di questo gas in altr'acqua in cui si sospetti possa trovarsi sciolta della calce, l'acido carbonico si combina tosto alla calce, formando il carbonato di calce (*pietra calcarea*), e si precipita così unito al fondo del vaso, in cui vien fatto lo sperimento.

VI. L'acido solforico conserva una tale affinità coll'acqua che, versatene alcune gocce in una data quantità di questo liquido impregnato di gas acido carbonico (*acqua acidula*), l'acqua si unisce coll'acido solforico, ed il gas acido carbonico s'innalza in bolle, che si vedono a svilupparsi rapidamente dalla superficie dell'acqua.

Osservazione. Questi due ultimi esempi possono dare un'idea del metodo con cui il Fisico-chimico trova i componenti delle acque minerali. Fra noi furono analizzatori d'acque minerali Luigi Brugnatelli, Gioberti, Mandruzzato, Gionetti, Berzé, Ferretti, Moscheni, Santi, ecc. (1). Quando mediante l'analisi si sieno trovate le sostanze ch'entrano a comporre un'acqua minerale, si può colla sintesi (§. 18) formarle artificialmente.

VII. L'oro si trova in natura sempre unito ad altri metalli, e principalmente all'argento, al rame, al tellurio; l'argento in miniera è in lega col piombo, col ferro, col bismuto e con altre sostanze; ed anche gli altri metalli sono sempre uniti con materie a loro eterogenee; perciò colla cognizione del grado d'affinità che alcuni corpi esercitano su tali sostanze eterogenee si analizza la miniera, e si separa il metallo puro dalle altre materie con cui si trova combinato. Le miniere di

(1) V. *Trattato pratico dei reagenti chimici* di Accum e Pozzi. Milano 1819 vol. 2, pag. 111.

ferro sono per lo più cariche di sostanze terree e di altre materie metalliche. Nella prima fusione di queste miniere non si può depurare del tutto il ferro dalle sostanze eterogenee cui è combinato, e si ha un composto che vien chiamato *ghisa*, materia durissima e fragile, che serve a formar lastre e tubi ad uso delle stufe e dei camini, non che caldaie ed altri recipienti per gli usi domestici e per le arti.

75. L'affinità serve anche per formare con alcuni corpi de' composti che, essendo forniti di proprietà diverse da quelle dei componenti, riescono spesso utili alle arti ed ai mestieri (§. 18). L'arte del tintore, del cuciniere, del conciatore, del ferraio, del falegname, del muratore, ecc. ci somministrano moltissimi esempi di queste utili composizioni. Il tintore deve conoscere di quali preparativi abbisognano le sue stoffe, e di quale natura devono essere affinchè abbiano affinità colla materia colorante in modo da resistere all'uso ed al tempo. Il cuciniere fa d'uopo che sappia qual grado d'affinità abbiano le sostanze che devono entrare a formare i suoi intingoli e i suoi manicaretti, onde ne risulti un composto salubre ed aggradevole. Il conciatore di pelli bisogna che conosca le sostanze che contenendo il concino possano rendere insolubile la gelatina animale delle pelli. Al ferraio è necessario conoscere il grado d'affinità che hanno fra loro i diversi metalli, onde possa fare delle leghe e delle saldature utili a' suoi lavori. È mestieri che il falegname sia istrutto intorno alle colle che hanno più affinità coi legni che vuol porre in opera, onde questi vengano uniti tenacemente. Il muratore deve sapere le proporzioni e la natura delle sostanze che entrar debbono nella composizione dei cementi, affinchè questi abbiano la più grande affinità coi mattoni e le pietre che devonsi connettere e rendere per tal modo più solido il fabbricato. In somma noi qui potremmo ripetere quanto abbiamo esposto al §. 18 intorno all'utilità che reca agli artefici ed ai manifattori la cognizione dei diversi gradi d'affinità che parecchie materie esercitano fra loro. Diamo alcuni esempi di composizioni le quali risultano vantaggiose agli usi ed ai comodi della società.

I. Combinando l'oro col rame, la lega che risulta ha una durezza maggiore di quella e del rame e dell'oro puro; ed è perciò che nelle monete d'oro entra sempre una porzione di rame. Nelle monete metriche la legge ha stabilito 1|10 di lega. (§. 45). In Francia la legge tollera 1|11 di lega nei lavori di oreficeria.

II. Le leghe sono utili per le saldature, atte ad unire i metalli fra

di loro. L'utilità delle saldature dipende dall'essere le medesime più facilmente fusibili dei metalli che si vogliono unire; per cui il grado di fuoco impiegato a fondere la saldatura non fonde nello stesso tempo i pezzi di metallo che debbono essere congiunti insieme. Una lega molto fusibile è quella composta di 8 parti di bismuto, 5 di piombo, e 3 di stagno.

III. Il piombo legato con un poco d'arsenico diventa crudissimo, e il composto viene usato nella formazione dei pallini da schioppo.

IV. Il ferro combinato col carbonio (*carbone puro*) nella proporzione di circa 97 a 3 forma un corpo durissimo qual è l'acciaio (*protocarburo di ferro*); combinato pure col carbonio, ma nel rapporto di circa 6 a 94 forma un corpo fragilissimo detto piombagine o lapis nero (*percarburo di ferro*); la polvere di piombagine è ottima per la fabbricazione de'crogiuoli.

V. Alcuni ossidi metallici (*calci metalliche*) combinati con altre sostanze formano degli ottimi smalti e degli smerigli. L' ossido bianco di piombo (*biacca di Venezia*, o *magistero di Saturno*) combinato col ferro forma un bello smalto; e l'ossido di ferro (*safferano di Marte*) mescolato con quarzo forma uno smeriglio buonissimo per pulire le pietre, il vetro ed i metalli più duri.

VI. L'antimonio mescolato col piombo nel rapporto di 1|16 forma la materia di cui si compongono i caratteri da stamperia.

76. Lo scopo dell'analisi è di determinare gli *elementi* (§. 16) di cui si compongono i corpi. Questi elementi, nello stato attuale della scienza, ascendono al numero di 63, dei quali 51 sono *corpi metallici* o *metalli*, e gli altri 12 *materie non metalliche*, dette anche *metalloidi*. Questi ultimi combinati fra loro e coi metalli in diverse proporzioni compongono l'indefinito numero di corpi della natura: essi sono 1 l'*ossigeno*; 2 l'*idrogeno* o *flogogeno*; 3 l'*azoto* o *nitrogeno*; 4 il *carbonio*; 5 il *cloro* o *murio*; 6 il *bromo*; 7 il *solfo*; 8 il *fosforo*; 9 il *boro*; 10 l'*iodio*; 11 il *fluoro*; 12 il *selenio*.

Spetta alla chimica il far conoscere le proprietà di tutti i 63 elementi e l'indefinita varietà dei composti che ne nascono. Unendo un corpo elementare con un'altra quantità del medesimo, si ha una maggior massa, senza che si abbia cambiato la sua qualità; talchè gli aggregati ritengono lo stesso nome delle masse da cui derivano. Così unendo solfo a solfo si ha un corpo che è cambiato in quantità, ma non in qualità, ed è ancora solfo. Unendo però il solfo al mercurio, non solo il composto risultante ha differente massa, ma anche differenti proprietà (§. 19), per cui gli vien dato un altro nome; i nomi

dei composti si deducono da quelli degli elementi da cui sono formati, combinati però con alcune regole che costituiscono la *nomenclatura chimica*.

77. L'attrazione che esercitano fra loro le molecole materiali, oltre le aggregazioni e le composizioni che abbiamo fatto conoscere, tiene unite le superficie ben levigate di due corpi che vengono posti a contatto, in modo da opporre in certi casi una valida resistenza alla forza che cerca disgiungerli. Questa attrazione di superficie viene distinta dai fisici col nome di *adesione*, la quale differisce dalla *coesione* e dall'*affinità* che unisce fra loro tutte le molecole d'un corpo (§. 19). Se due lastre metalliche ben levigate e pulite vengano a combaciarsi, restano unite in causa della forza di adesione; ma se le stesse lastre venissero fuse in una sola massa, allora il contatto delle particelle materiali succede per ogni verso, e restano così unite in virtù della forza di coesione o d'affinità.

78. Se fra le superficie ben levigate dei due corpi, che si devono mettere a contatto, si ponga qualche liquido, come acqua, olio, grasso, ecc., o qualche solido sciolto in un liquido, esse aderiscono talmente, che è necessario il peso di parecchi chilogrammi per disgiungerle. L'adesione in questo caso aumenta col raffreddarsi o coll'asciugarsi la sostanza intermedia. La qualità di questa sostanza influisce molto a far aumentare l'adesione di due corpi. Così l'adesione nella carta cresce quando fra le superficie di questa materia si ponga della colla di farina di frumento; nel legno è opportuna a tal uopo la colla animale o colla forte; nelle pietre lo stucco o la calce; nei metalli lo stagno o altre saldature. Non si creda però che quanta più sostanza liquida si ponga frammezzo, l'adesione sia maggiore. Osserveremo qui che, volendo parlare a rigore, l'adesione in questo caso non succede fra i due solidi posti a contatto, ma bensì fra il solido e la sostanza intermedia.

79. Fra i corpi che presentano una grande adesione, senza l'applicazione d'una sostanza intermedia, sono il piombo, il marmo, l'agata, la corniola ecc. Due emisferi di piombo del diametro di circa met. 0,03 posti a contatto per le loro superficie ben appianate aderiscono talmente da resistere allo sforzo di 7 e più chilogrammi per istaccarli. Due cilindri di marmo del diametro di circa metri 0,10 sostengono alle volte la forza di qualche cavallo, che tende a disgiungerli. Anche due lastre di vetro ben levigate aderiscono fra loro.

80. Per misurare con quale forza aderiscono tanto due corpi dissimili quanto due della stessa natura, serve un apparato somigliante

Digitized by Google

a quello rappresentato nella fig. 2. Uno dei corpi sta con un gancio attaccato ad un altro gancio assicurato nel mezzo dell'arco o della traversa di due piedritti, e pende colla sua superficie orizzontale, cui sta congiunto per adesione l'altro corpo munito inferiormente pure di gancio. A questo gancio sta appeso un bacinetto, sul quale si mettono dei pesi, che si accrescono gradatamente sinchè si giunge a separare le due superficie aderenti. In tal modo si ha lo sforzo necessario a vincere l'adesione delle due superficie, al quale però bisogna aggiungere il peso del corpo sottopostò e quello del bacinetto per avere lo sforzo totale necessario alla separazione.

Giova qui l'osservare che lo sforzo in tal modo determinato non esprime per intero l'adesione; giacchè vedremo nella fisica particolare, parlando dei fluidi elastici, che l'aria, da cui sono circondati tutti i corpi del pianeta dove abitiamo, preme su questi corpi, e da questa pressione risulta un aumento di forza che tiene unite le superficie dei due corpi. Anzi dal momento che si studiarono i fenomeni dell'adesione, venne subito il sospetto che potessero dipendere unicamente dalla pressione dell'aria circostante. Ma siccome questa pressione si può esattamente valutare, e d'altronde il fenomeno succede anche nel vuoto; così un tal dubbio fu ben presto dissipato, e si riconobbe che si manifesta nella materia un'attrazione di superficie, dipendente dall'attrazione universale, la quale si scorge nelle molecole e nelle masse dei corpi.

81. Ai fenomeni dell'adesione dei corpi solidi fra loro sembra che si debba annoverare l'attaccarsi delle piccole particelle materiali alle pareti verticali ed alla soffitta delle stanze senza che cadano pel proprio peso. Questi polviscoli di materia si depositano e si attaccano anche ai vetri delle finestre, e talvolta, pel concorso principalmente dell'umidità e dei raggi solari, vi formano esilissimi strati molto aderenti, da cui rimangono appannati, e costituiscono quelle lamine sottili da cui dipende, come vedremo, il fenomeno dell'iridescenza.

Per indorare l'acciaio, viene ben raschiata la sua superficie, usando ogni cura perchè non sia in alcun punto menomamente imbrattata di sostanze estranee: poscia si distende sulla medesima una foglia d'oro (o d'argento se si tratta d'inargentatura) e vi si adatta sopra un ponzone, che si percuote con un colpo di martello. L'oro in tal modo aderisce all'acciaio e ne ricopre con abbastanza solidità la superficie, in modo che non si può così facilmente levare, ben

anche collo sfregamento mediocre d'un altro corpo (1). Per l'indoratura dei metalli impareremo a conoscere nel trattare dell'elettricità un processo migliore di questo, ed un altro di cui facciamo cenno in un seguente paragrafo dove l'oro sta unito ad un altro metallo per adesione. Si riferisce a questa dottrina l'adesione al vetro della stagnuola amalgamata, con cui si formano gli specchi comuni.

82. L'adesione ha luogo anche fra *solidi e liquidi*. Per convincersi con un'esperienza facile ad essere istituita, si versano alcune gocce liquide sopra la superficie d'un solido, che si distenderanno più o meno sulla medesima secondo il maggior o minor grado di adesione, che vi ha fra il solido ed il liquido, ben inteso però che questo non sciolga l'altro corpo, perchè allora si avrebbe un esempio d'attrazione d'affinità e non di superficie. Esperimentando in tal maniera si trova che l'*olio* ha col *marmo* maggior adesione del *mercurio*; poichè una goccia del primo liquido si distende sul piano di quel solido e forma un ampio disco, mentre il secondo conserva la sua forma sferoidale. Si trova pure nella stessa maniera che la superficie vetriata d'un tondo di *terraglia* ha maggior adesione per l'*olio* che per l'*acqua*; più per l'*olio di trementina* che per l'*olio d'olive*; più per l'*etere* che per l'*olio di trementina*.

Questo spandimento delle gocce d'un liquido sopra un piano solido dimostra che l'adesione dell'uno per l'altro corpo supera la coesione, di cui sono dotate le molecole liquide per se medesime. La maggior adesione quivi è la causa appunto che impedisce di poter mostrare l'azione della coesione (§. 20). Il *mercurio* in gocce conserva sopra lastre di vetro la sua forma sferoidale, mentre le gocce d'*acqua*, d'*olio* ecc. vi si distendono in dischi più o meno ampii. Le gocce d'acqua formate dalla rugiada conservano sulla foglia dei vegetali la loro forma sferoidale, e così sopra una carta spalmata di *polvere di licopodio*. Egli è per la prevalenza della coesione sull'adesione che l'acqua si può rinchiudere in sacchetti di tela spalmata con polvere di licopodio. Su questo principio è fondato il metodo di preparare un sapone, col quale rendere impermeabili all'acqua i panni, i tessuti, senza loro togliere la penetrabilità dell'aria (2).

(1) Si veda l'opera di Robison: *Sistem of mechanical philosophy*. Edimburgo 1822. II, pag. 233.

(2) Vedi per la fabbricazione d'un tal sapone gli *Annali di fisica, chimica* ecc. di Majocchi T. I., pag. 108

83. Per trovare con quanta forza un solido ed un liquido aderiscono fra loro, si appenda un disco *C* (fig. 3) ben levigato, del solido che si vuole sperimentare, al fusto *ab* d'una bilancia in modo che sia in equilibrio coi pesi posti sul bacino *B* attaccato all'altra estremità *b* del fusto. Si ponga poscia il disco a contatto del liquido, di cui è pieno il vaso *A*, e si mettano sul bacino *B* quei pesi appena sufficienti per istaccare il disco *C* dal liquido posto nel vaso *A*: questi pesi dichiareranno la forza, colla quale la sostanza, di cui è composto il disco, aderisce al fluido posto nel vaso.

Con esperienze di questa natura si è trovato il grado d'adesione che ha il mercurio con alcuni metalli espresso secondo i rapporti seguenti (1):

Mercurio coll'oro	446
» » argento	429
» » stagno	418
» » piombo	397
» » bismuto	372
» » zinco	204
» » rame	142
» » antimonio	126
» » ferro	115
« » cobalto	8

Gli ultimi due metalli, per la loro poca adesione, non si possono così facilmente amalgamare. Si vede in ciò anche la ragione per cui sul cobalto e sul ferro le gocce di mercurio conservano meglio la loro rotondità che sugli altri metalli, i quali hanno maggior adesione per quel liquido.

84. La grande adesione che ha il mercurio con alcuni metalli serve benissimo per indorarli. Formata un'amalgama (§. 24) d'oro semiliquida, si copre colla medesima la superficie del corpo che si vuol indorare: il mercurio per l'adesione che ha col metallo s'attacca alla sua superficie unitamente all'oro con cui è amalgamato. Posto poscia il corpo così coperto all'azione del fuoco, il mercurio svaporando lascia l'oro solo attaccato alla superficie del metallo, onde

(1) I numeri qui notati esprimono grani del peso di marco francese, equivalente uno di essi a grammi 0,053. Diamo questo ragguaglio per chi volesse avere non i soli rapporti d'adesione di quei metalli col mercurio, ma la misura assoluta pei dischi che avevano 27 millimetri di diametro.

viene ad avere esternamente l'aspetto dell'oro medesimo. E questo un altro metodo d'indorare oltre quello superiormente esposto (§. 81).

85. Nelle sperienze istituite col metodo precedente per avere la misura dell'adesione d'un solido con un liquido (§. 83), bisogna che il liquido non bagni il solido; perchè allora nei pesi necessarii al distacco si avrebbe la misura della coesione del liquido e non quella dell'adesione del liquido stesso col solido. Egli è perciò che, operando con lastre di diversa materia e della stessa grandezza, la forza per allontanarle dal liquido, da cui sono bagnate, risulta prossimamente la medesima, perchè essa in tale caso misura sempre la coesione delle molecole liquide per se stesse. Sperimentando, per esempio, con una lamina piana d'abete o di altro legno, con lastre di rame, di zinco o di vetro, che tutte sono bagnate dall'acqua, ed hanno quindi con questo liquido un'adesione maggiore della coesione che ha l'acqua per se stessa; quando le superficie di quei corpi abbiano eguali dimensioni, si trova che il peso per istaccarle dal liquido riesce sempre il medesimo, perchè esso misura la coesione dell'acqua e non l'adesione di questa per quei corpi solidi. È appunto per tal ragione che nello scolo dei liquidi pei tubi si è trovato che quando il liquido bagna la parete del tubo, come è dell'acqua col vetro, l'efflusso risulta il medesimo tanto per un tubo a pareti scabre che a pareti internamente liscie (1).

86. La temperatura influisce sull'adesione d'un solido con un liquido, la quale a circostanze pari segue, come nei solidi fra loro, la ragione delle superficie venute a combaciamento. In generale si è trovato che l'adesione diminuisce al crescere della temperatura. In questa sorta d'esperienze per valutare l'adesione d'un solido con un liquido, vi sono alcune circostanze che influiscono sui risultamenti; le molecole liquide vengono rimosse dalla loro sfera d'azione, per cui la forza riesce minore. Egli è per ciò che Gay-Lussac, sperimentando con uno stesso disco sopra il mercurio, non ha trovato sempre lo stesso valore di attrazione per distaccarlo dal liquido. Accrescendo egli con molta lentezza il peso impiegato a sollevare il disco, il peso totale all'istante della separazione si è elevato da 158 sino a 296 grammi.

Laplace comprese i su nominati fenomeni complessi, dipendenti dall'adesione d'una lamina solida con un liquido e dalla coesione delle molecole di questo, sotto il nome d'*azione capillare* o *capil-*

(1) Vedi *Annali di fisica, chimica*, ecc. di Majocchi, T. X, *Nota* della pag. 122.

larità (1), come avanti di lui aveva fatto Tommaso Young (2). Nel qual caso però si tiene a calcolo tanto l'una che l'altra forza. La formola generale, cui è giunto Laplace per l'attrazione dei tubi capillari, viene da lui applicata anche alla determinazione della forza, colla quale una lamina di vetro orizzontale aderisce all'acqua, espressa dal peso necessario a distaccare la lamina stessa da questo liquido; formola che è stata modificata da Poisson (3). Le formole, stabilite per questa sorta di fenomeni complessi, danno dei valori, i quali si accordano appunto coi risultamenti dell'esperienza.

87. Dalla prevalenza o non prevalenza dell'adesione sulla coesione dipende la liquefazione d'un solido immerso in un liquido. Un pezzo di ghiaccio, immerso nell'essenza di trementina, si fonde già ad una temperatura di gradi 1,5 centesimali sotto allo zero, o ad una temperatura a cui il ghiaccio rimane solido situato nell'aria. Il ghiaccio, immerso nell'alcoole, si fonde ad una temperatura ancor minore al disotto dello zero, per la ragione che l'alcoole ha maggiore forza attrattiva con l'acqua del ghiaccio di quella che sussiste fra l'acqua stessa e l'essenza di trementina. Nel petrolio il ghiaccio si fonde ad una temperatura superiore a quella in cui si liquefà nella trementina, per la ragione che la prima materia ha minor adesione della seconda con l'acqua. Non solo tutte le soluzioni (§. 22), ma ben anche le liquefazioni nei casi sucitati dipendono dalla prevalenza della forza attrattiva del liquido sul solido in confronto della coesione di questo; cioè tanto che una tal forza sia l'affinità, il che dà luogo ad una vera soluzione, quando che sia la semplice adesione con cui si ha una specie di fusione.

88. L'adesione, che ha il vetro con l'acqua, è la causa per cui questo liquido, versato da un bicchiere, vedesi scorrere lungo la parete esterna del medesimo prima di cadere al basso, come viene rappresentato nella fig. 4. Se s'inclina di molto il bicchiere in modo che la gravità del liquido prevalga all'adesione che questo ha col vetro; oppure se la superficie esterna del vaso di vetro sia spalmata con qualche sostanza grassa, che rende minore l'adesione con l'acqua, allora questo liquido giunto all'orlo del bicchiere cade al basso senza trascorrere sulla superficie esterna, e nel secondo caso anche sotto una piccola inclinazione.

(1) *Supplément au deuxième livre de la mécanique céleste*, Parigi, 1806; e *Supplément à la théorie de l'action capillaire*, tom. IV.

(2) *Transazioni filosofiche* della Società reale di Londra, 1805, tom. I, p. 78.

(3) *Nouvelle théorie de l'action capillaire*, Parigi 1831.

Dall'adesione dipende la spiegazione d'altri fenomeni, oltre il precedente. I liquidi che scolano in poca quantità per condotti orizzontali, coi quali manifestano maggiore adesione della loro coesione, hanno un moto lento, e nell'uscire dal condotto si accumulano sinchè la massa ha un peso tale da vincere la forza con cui stanno attaccati e cadere. La quantità di liquido che si accumula all'estremità del condotto è tanto più grande, quanto più è grande l'adesione, e lo sgocciolamento di essi si fa ad intervalli di tempo che crescono coll'adesione medesima. Quando la materia del condotto sia sempre la medesima per uno stesso liquido, sicchè l'adesione e la coesione rimangono costanti, e quando il condotto sia sempre egualmente inclinato, le gocce riescono eguali fra loro, e la massa di liquido caduto riesce in ragione del numero delle gocce. All'appoggio di questo principio nelle composizioni farmaceutiche il numero delle gocce serve di misura pel liquido, che fa parte del composto.

Quando un liquido zampilla da un tubo tagliato all'estremità obliquamente al suo asse e formato di materia che abbia molta adesione col liquido stesso, come sarebbe dell'acqua e d'un tubo di vetro; il getto nell'uscire dal tubo si inclina verso la parte più elevata dell'orlo dell'apertura. L'inclinazione non succede se il tubo è fatto di materia, che non abbia col liquido grande adesione; e nel caso del vetro e dell'acqua, se l'estremità sporgente del tubo sia spalmata con una sostanza, che impedisca l'adesione stessa.

La machina per elevare l'acqua di Vera, di cui parleremo, e parecchi altri fenomeni dipendono egualmente dall'adesione dei solidi coi liquidi. Così quando si vuole impedire l'attaccatura di corpi messi a combaciamento, s'interpone qualche sostanza, che abbia con essi poca adesione. Egli è per tal ragione che gli olii, il butirro ed altre materie grasse servono ad impedire che le paste si attacchino alla superficie dei vasi dove si fanno cuocere; oppure, nel lavorarle, a togliere alle loro superficie di aderire l'una coll'altra, o colla tavola su cui si distendono. Per la stessa ragione si spalma d'olio la superficie delle forme, dove si modellano figure di gesso. L'acqua serve nello stesso modo a tenere disgiunti corpi grassi e pingui.

89. Quando le superficie ben levigate di due solidi si coprono d'uno strato di sostanza liquida e si mettono fra loro a combaciamento, allora si ha in generale nello sforzo a disgiungerle un'altra prova dell'adesione fra solidi e liquidi. L'acqua, l'olio, le sostanze grasse attenuate ed altre sostanze liquide interposte fra le superficie

ben levigate di due solidi congiunte assieme, manifestano un'adesione da richiedere il peso di parecchi chilogrammi per vincerla. Due lastre di vetro, che ben asciutte aderivano pochissimo, stanno attaccate fra loro con maggior forza inumidite ben anche col solo alito. Due cilindri di marmo, spalmati sulle loro superficie piane con qualche goccia d'olio, e poscia posti per queste a combaciamento, oppongono una valida resistenza alla forza, che nella direzione del loro asse tende a disgiungerli. Le sostanze attenuate o liquefatte, applicate nella stessa maniera a corpi solidi, manifestano pure un'adesione più o meno grande. L'adesione, in questo caso, aumenta d'ordinario, col raffreddarsi e solidificarsi la materia liquefatta interposta ai due solidi, e varia secondo la natura delle materie medesime (§. 78). La colla aderisce alla carta e serve ad unire questa con altra carta o con materie consimili; il legno si collega insieme con altro legno mediante la colla animale o colla forte, per l'adesione che questa manifesta col legno medesimo; le pietre si connettono tenacemente fra loro mediante un cemento calcare semiliquido. In tutti questi casi, come in molti altri, i corpi stanno congiunti con maggior tenacità a misura che la sostanza liquida o semiliquida intermedia si asciuga, si disecca e si riconsolida. Non si deve credere però che quanto sia maggiore la quantità di sostanza interposta alla superficie dei solidi tanto più grande riesca l'adesione. Le vernici sono un esempio d'adesione di questa specie, ed all'atto della loro applicazione presentano anch'esse un esempio d'adesione fra solidi e liquidi e poscia fra due solidi.

Come mai avviene che, nel diseccarsi e nel riconsolidarsi del liquido, si aumenta l'attrazione di superficie in modo da manifestare talvolta una resistenza maggiore di quella della coesione delle molecole solide? Sembra in tal caso che al principio l'attrazione sia semplicemente di superficie; ma poscia il liquido, insinuandosi nei pori dei corpi e riconsolidandosi in una sola massa, l'attrazione diventi molecolare o d'affinità; talchè alle superficie in congiunzione vi ha adesione ed affinità, che tengono attaccati i due corpi e che assieme superano talvolta la coesione delle altre parti dei medesimi. L'adesione infatti può considerarsi come l'iniziamento all'affinità fra due materie, e trovandosi queste in circostanze opportune può la prima specie d'attrazione trasformarsi nella seconda. Imperciocchè, ben considerando l'azione molecolare, non vi può essere affinità senza che prima abbia luogo l'adesione.

90. Vi sono però degli esempi di questa sorta d'esperienze, che

difficilmente si possono spiegare colla semplice forza d'adesione trasformata ben anche in affinità. Muschenbroek ha posto al cimento corpi cilindrici di diverse materie, di vetro e di parecchi metalli, che faceva riscaldare nell'acqua bollente e, spalmandone la superficie ben appianata con sego, gli accoppiava diligentemente, lasciandoli poscia raffreddare. I cilindri avevano 5 centimetri di diametro e per disgiungerli è stato necessario per alcune coppie 100 e sino a 200 ed anche 300, 400 e più chilogrammi. Si noti che in queste valutazioni è stata levata la pressione dell'aria circostante, la quale, come vedremo, è facile ad essere calcolata, conosciuto, come nel nostro caso, il diametro delle superficie poste a combaciamento. Osservisi altresì che nei valori delle ultime due resistenze, il sego era applicato sulle superficie dei cilindri quasi alla temperatura dell'ebollizione; avendo due cilindri di ferro in tal modo trattati presentata una resistenza alla loro separazione, senza contare la pressione dell'aria, di 901 libbre olandesi che equivalgono a chilogrammi 445. Ammettiamo pure che nel riscaldamento dei cilindri si allarghino i pori e il sego possa allo stato di liquido più facilmente internarsi in essi, e che l'adesione, se si vuole, si cambi in affinità a quella temperatura. Non si comprende però come con una materia di sì poca coesione, come il sego, si possa avere un accrescimento così grande d'attrazione. Sembra dunque che nella produzione del fenomeno vi concorra qualche altra causa; e il soggetto meriterebbe d'essere studiato e chiarito con nuove sperienze e nuove meditazioni e con tutti quei mezzi migliori che oggidì ci presentano le scienze e le arti.

91. Dipendente dall'adesione dei liquidi coi solidi è il seguente fenomeno riferito da Carradori (1). Con un fuscello di paglia si portino alcune gocce d'alcoole sopra un piatto di terraglia previamente spalmato con pochissima quantità d'olio d'ulive: il sottilissimo strato oleoso, che copre la superficie del piatto, viene rimosso dai luoghi dove cadono le gocce d'alcoole e si dispone all'intorno di queste; mentre l'alcoole stesso s'insinua fra l'olio e va a contatto colla superficie solida del piatto. Questo effetto dipende dalla maggior adesione del solido per l'alcoole che per l'olio d'ulive (§. 82). Parecchi altri esempi si hanno di liquidi rimossi da altri liquidi, per la maggior adesione di questi ultimi colle superficie solide.

(1) *Memorie della Società italiana delle scienze*, tom. II, parte seconda, pag. 105.

Digitized by Google

92. L'attrazione di superficie è una conseguenza dell'attrazione generale della materia, e se essa si riscontra fra solidi e solidi, e fra solidi e liquidi, deve aver luogo anche fra solidi e fluidi aeriformi, fra liquidi e liquidi, fra liquidi ed aeriformi, e fra due aeriformi. Vi sono delle sperienze infatti colle quali si prova una tale verità. Dei fluidi aeriformi s'insinuano nei pori dei solidi espellendone l'aria, per una maggior adesione che hanno con questi ultimi dell'aria stessa e senza che si combinino coi solidi per affinità. I carboni dei diversi legni assorbono per adesione parecchi gas, e diverse materie solide assorbono per adesione il vapore acqueo, e perciò si chiamano *igrometriche*. Le esalazioni odorose sono pure assorbite da alcuni solidi, e se ne ha una prova negli utensili di legno, nella carta e negli oggetti di altre materie situate nelle farmacie, che conservano l'odore delle esalazioni delle droghe e dei preparati chimici anche quando sono trasportati in altro ambiente a contatto coll'aria pura e libera. Parimenti alcuni liquidi aderiscono fra loro senza mescolarsi per affinità. Nei pori di parecchi liquidi s'insinuano pure per semplice adesione dei fluidi aeriformi; e così l'aria e molti altri gas si mescolano meccanicamente coll'acqua senza che l'uno dei due fluidi eserciti veruna azione chimica sull'altro (1).

93. All'adesione appartiene una categoria di fenomeni moltiplicati da pochi anni, e consistenti nella deposizione di alcuni vapori o di particelle tenuissime di sostanze in esalazione, su certe parti a preferenza di altre delle superficie di lamine di metallo, di vetro e di altra materia.

Si conosce da lungo tempo che, se si scrive con certe sostanze sopra una lastra di vetro ben pulita e poscia si cancellano i caratteri pulendo di nuovo la lastra, questi ricompariscono quando vi si soffia sopra coll'alito. Lasciando evaporare la primitiva umidità condensata sul sito, dove erano scritti i caratteri, se si soffia di nuovo coll'alito sulla lastra, i caratteri ritornano visibili. Questo fenomeno avviene con molti altri corpi puliti, come lamine metalliche, lamine di mica, piani di terraglia, di porcellana, di mercurio ecc., e con diverse materie, che servono a scrivere i caratteri. Il vapore acqueo esalato coll'alito si condensa ordinariamente nel luogo dove stava deposta la materia, colla quale si sono scritti i caratteri. Si è quindi

(1) Chi bramasse conoscere parecchi esempi di adesione di corpi solidi e liquidi coi fluidi aeriformi, come pure dei fluidi fra loro, può vedere la mia *Fisica popolare*, tom. I, pag. 169 e seguenti.

Google

prodotto con questa materia una modificazione nelle parti delle lamine toccate; modificazione che aumenta in tal caso la forza d'adesione del solido col vapore acqueo. Per questo accrescimemto di forza appunto i vapori si depositano in maggior copia sulle parti toccate dalla materia che ha servito per iscrivere, rendendo con ciò visibili di nuovo i caratteri. Questa aumentata adesione dura ben anche per alcuni giorni sopra alcuni corpi: infatti, se sopra la superficie di mercurio stagnante in un vaso, dopo uno, due o tre giorni si dirige di nuovo l'umidità coll' alitazione, ricompariscono ancora i caratteri quantunque meno chiari e distinti. Lo stesso succede con piani d'altre materie.

Ricoprendo una lamina metallica, la cui superficie sia ben tersa e pulita, con un diaframma intagliato a trafori, ed esponendola per un istante ai vapori d'iodio, talchè nessuna imagine apparisca delle parti lasciate a nudo; quest'imagine diventa visibile alitando sulla lamina. L'umidità dell'alito ha aderito e si è condensata sulle parti, che provarono per un istante l'azione dell'iodio; per cui questo ha aumentato l'adesione del metallo pei vapori acquei.

Questa modificazione dell'attrazione di superficie, che alcuni corpi manifestano pel vapore acqueo, si produce in alcuni casi anche col semplice combaciamento più o meno prolungato d'un altro corpo. Un bagno di mercurio si è coperto con una campana di vetro, nella quale si è collocato del cloruro di calce e si è fatto il vuoto, per togliere qualunque umidità aderente al mercurio medesimo. Si è posto poscia a contatto un sigillo colla superficie del liquido metallico. Alitando su questa superficie, dopo aver levato il sigillo, comparisce una debolissima imagine dell'impronta del sigillo medesimo. Comprimendo un poco il sigillo contro il mercurio, il fenomeno risulta più distinto, trovandosi le parti in rilievo dell'impronta un poco più chiare sul mercurio di quelle depresse. Ponendo un sigillo di bronzo sopra una lamina di rame ben pulita e levandolo dopo un qualche tempo, se si alita poscia sulla medesima ne apparisce tosto l'imagine abbastanza distinta da scorgere le parti cave da quelle in rilievo del sigillo medesimo. Affinchè l'imagine dell'oggetto comparisca ben definita sulla lamina di rame mediante la condensazione dei vapori, importa che l'oggetto medesimo sia lasciato per parecchie ore in riposo sulla superficie metallica. Anche in questo caso il contatto d'un altro corpo, e la deposizione forse di sostanze che trovansi nelle cavità del medesimo, rende alle parti della lamina, colle quali succede il combaciamento, una forza d'adesione differente col vapore acqueo o coll'umido dell'alitazione, per cui nasce l'imagine.

Digitized by Google

94. Molti altri vapori sono forniti della proprietà di attaccarsi più o meno ai corpi ben levigati in quelle parti, dove per qualche causa hanno subito un cangiamento nella loro attrazione. I vapori di spirito di trementina fanno comparire nella stessa guisa le imagini sopra lastre metalliche. La stessa proprietà hanno i vapori di mercurio, d'iodio, d'acido nitrico, di acido solforoso e diversi altri. Ma questi ultimi vapori intaccano le lamine metalliche per affinità e non per adesione; come succede con quelli dell'acqua, dello spirito di trementina, dell'alcoole e simili.

Se dopo essere seguita l'imagine, la lamina si sottopone ad un lieve sfregamento, si può coi vapori dell'acqua o dello spirito di trementina far ricomparire l'imagine stessa. Che se la lamina si sfreghi, quando non è ancora comparsa l'imagine, questa non ritorna ad essere visibile col mezzo del vapore. Una temperatura molto elevata, cui si sottopone la lamina, restituisce in ogni caso l'uniformità di adesione pei vapori in ogni parte; e l'imagine, operando nell'egual guisa, non comparisce più. I vapori in questi casi si attaccano uniformemente sopra ogni punto della lamina e, non essendovi differenza di condensazione in certi punti in confronto degli altri, non si manifesta verun segno distinto visibile. Parimenti se la lamina viene tenuta per molto tempo esposta ai vapori, questi si condensano egualmente su tutta la superficie, e formano uno strato che può riuscire visibile; senza presentare alcuna imagine.

L'imagine in tutti questi casi è positiva; vale a dire presenta i rilievi corrispondenti a quelli dell'oggetto che servì a produrla. Egli è chiaro che con materie, le quali diminuiscono l'adesione della lamina in quelle parti, con cui vengono a combaciamento, si otterrà nella deposizione dei vapori un'imagine negativa; vale a dire coi rilievi disposti inversamente di quelli dell'oggetto. Tracciando con una punta di cera dei caratteri sopra una lastra di vetro abbastanza leggermente che riescano invisibili, essi compariscono alitando sulla lastra o sottoponendola all'esalazione di vapori acquei. In questo caso l'imagine è negativa. Imperocchè le materie grasse, come la cera, si sono attaccate alla lastra, e in quei punti hanno diminuito l'adesione; per cui il vapore si deposita in tutte le altre parti, lasciando intatte quelle toccate dalla cera, che perciò danno nascimento ad un'imagine negativa.

95. Diverse materie dunque poste a contatto con alcuni corpi alterano in questi l'adesione per certe esalazioni: un tal principio si potrebbe applicare al disegno degli oggetti sopra lastre metalliche

Digitized by Google

per essere incisi. Le stampe, distese sopra lamine di rame ben levigate, umettate leggermente e poscia riscaldate, esercitano sulla superficie metallica una differenza d'azione in conseguenza della diversità del disegno posto sulla carta. Una tale imagine si rende permanente sottoponendo la lamina alle esalazioni d'iodio. L'artefice quindi potrà poscia incidere il disegno ottenuto in tal modo sulla superficie del rame (1). Da ciò sembra che dipendano le imagini formate da polviscoli depositati sulle lamine di vetro, che ricoprono certe incisioni, come venne osservato da Cini (2). I raggi solari diffusi o diretti fanno qui le veci del calorico artificiale nell'esempio precedentemente addotto.

96. L'adesione della superficie di lamine solide coi vapori di alcune sostanze, vien variata eziandio col mezzo dell'elettricità, del calore, della luce e di altri agenti capaci ad alterare lo stato molecolare del solido in quei punti, sui quali esercitano la loro influenza gli agenti medesimi. Egli è per ciò che i fenomeni su descritti, della comparsa delle imagini sopra piani che si espongono alle esalazioni di vapori, si possono avere anche operando mediante i fluidi imponderabili. Quanto si è detto intorno ad un cambiamento d'adesione, vale anche per un cambiamento d'affinità, che si produce nei corpi posti a combaciamento. Appunto da un tal principio dipendono le imagini permanenti su lamine di rame inargentato, ottenute col metodo di Dsguerre.

97. Le imagini, prodotte da esalazioni vaporose sulle superficie dei corpi, credismo che siano dipendenti dall'adesione modificata sulle superficie stesse, per l'azione di altre materie o di altri agenti. Dobbiamo però qui notare che parecchi fisici, i quali studiarono quei fenomeni, hanno emesso differenti opinioni sulla causa dei medesimi: alcuni vogliono farli dipendere da una luce latente nei corpi (3); altri dal solo calore (4) o dalla sola elettricità (5); qualchedunno dalla forza ipotetica e particolare detta catalitica (6); o dalla presenza di sostanze organiche aderenti agli oggetti stessi, dai quali si producono le ima-

(1) Vedi *Annali di fisica, chimica* ecc. di Majocchi, tom. XII, pag. 10.

(2) Vedi gli *Annali* suddetti, tom. IV, pag. 98.

(3) *Annali di fisica* suddetti, tom. XI, pag. 50; tom. XIII, pag. 167; e tom. XV, pag. 42.

(4) Gli stessi, tom. IX, pag. 167 e tom. XI, pag. 275.

(5) Gli stessi, tom. X, pag. 40; tom. XI, pag. 279, Nota, e tom. XV, pag. 295 e 591, tom. XVI, pag. 43 e 280.

(6) Gli stessi, tom. XI, pag. 252.

Digitized by Google

gini (1); infine v'ha chi stabilisce: *essere propriamente il fatto fisico della condensazione d'un vapore in certi punti d'una lastra, ciò che determina in questi punti una differenza nel modo di condensare i vapori, a cui si esponga la lastra medesima* (2). Intorno a tutte queste opinioni osserveremo che quella della *luce latente* e l'altra della *forza catalitica* sono mere ipotesi, contraddette da parecchi fatti. Le due dell'elettricità e del calore come potrebbero spiegare i molti fenomeni consimili prodotti senza veruna presenza diretta di elettrico e di calorico e in qual modo determinano questi due fluidi la condensazione delle esalazioni vaporose? La presenza delle sostanze organiche può bensì modificare l'adesione; ma si danno parecchi altri casi in cui succede il fenomeno senza ch'esse intervengano. In quanto all'ultima opinione ci sembra rinchiudere essa una petizione di principio, giacchè si dice che la maggior condensazione di vapori in certi punti avviene per una primitiva condensazione nei punti medesimi. Ma di questa primitiva condensazione qual è la causa? È appunto ciò il punto della questione; ed esprimendosi in tal guisa, s'indica bensì l'effetto o il fatto della condensazione, che tutti ammettono e su cui non v'ha dubbio, senza farsi carico della causa da cui vien prodotto. Questa causa, lo ripetiamo, ci sembra esistere in una differenza d'attrazione di superficie o d'affinità pei vapori, che s'induce nelle parti della lamina o della superficie piana mediante un'azione meccanica, fisica o chimica la quale aggiunge materie eterogenee alla superficie attraente i vapori o ne disturba lo stato molecolare, che in ogni caso produce variazione nell'attrazione di superficie. Di questa attrazione di superficie, come di tutte le altre attrazioni, è bensì vero che non conosciamo la natura; ma essa ci è attestata da un'immensa moltitudine di fatti per cui è una verità dimostrataci dall'esperienza ed ammessa da tutti i fisici, e non una semplice ipotesi senza verun fondamento (3).

98. Un'altra classe di fenomeni si riferisce alle dottrine dichiarate dell'adesione. Diverse sostanze, le quali nelle ordinarie circostanze aderiscono fra loro, manifestano in alcuni casi una tendenza ad al-

(1) Gli stessi *Annali*, tom. X, pag. 47.

(2) Gli stessi, tom. XI, pag. 9.

(3) Si può vedere nei suddetti *Annali* tom. XV, pag. 181 la mia Memoria: *Delle immagini prodotte da esalazioni vaporose sulle superficie dei corpi;* nella quale si prendono in esame tutte le succitate opinioni e si dimostra che il fenomeno in ogni caso dipende da un'alterazione dell'adesione in alcuni punti della superficie attraente i vapori.

Digitized by Google

lontanarsi l'una dall'altra e cessa fra le medesime ogni attrazione di superficie. Una laminetta di ferro si riscaldi da un lato alla fiamma d'una candela o d'una lampada, e poco lungi dal sito del riscaldamento si collochi sulla superficie del ferro una goccia d'olio d'ulive: il liquido, che d'ordinario aderisce al ferro distendendosi in ampi dischi, concepisce un movimento pel quale si allontana dalla parte riscaldata del metallo. Questo fenomeno, osservato da Libri (1), avviene anche con laminette d'altre materie e con un semplice filo metallico, su cui si ponga una goccia di quel liquido. Alla produzione del fenomeno si prestano altri olii, come pure il sego fuso e tutti i liquidi, che bagnano il corpo solido, con cui vengono a combaciamento, e che non si convertono facilmente in vapore pel riscaldamento della laminetta. Osservasi che, se la lamina e il filo siano inclinati verso il basso dalla parte dove vengono riscaldati, la goccia liquida si muove salendo lungo il piano inclinato. In questo caso si può sperimentare con un cucchiaio, dove si pone la goccia d'olio; riscaldandolo pel disotto, il liquido ascende lungo la parete concava del medesimo.

Siccome si sa che il calorico in generale tende a diminuire ogni specie d'attrazione; così dalla parte riscaldata della lamina avviene una diminuzione d'adesione fra il liquido ed il metallo. Restando in tal modo una forza prevalente attrattiva dalla parte meno riscaldata, la goccia è attirata da questo verso. Nobili sembra partecipare della medesima opinione nell'interpretare il fenomeno, al pari dello stesso Libri, senza intravedervi alcuna ripulsione. Ritiene egli che la goccia, in virtù della maggiore temperatura, si dilati dalla parte più vicina alla sorgente calorifica e si evapori, mentre dell'altra resta liquida e conserva la sua adesione pel metallo: la quale forza, non essendo equilibrata dal lato opposto, attrae la goccia e la fa scorrere sulla superficie metallica. La sua grossezza poi va diminuendo in causa della porzione di liquido che si attacca al metallo (2). Non è necessario ammettere che dalla parte riscaldata il liquido evapori, sapendosi che gli olii e le sostanze grasse ed un forte calore si decompongono senza prima trasformarsi in fluido aeriforme. Basta che sia diminuita l'adesione per dar ragione del fenomeno.

99. Un fenomeno, analogo al su riferito e dipendente dagli stessi

(1) Si vegga la Memoria di Guglielmo Libri negli. *Annales de chimie et de physique*, di Parigi, tom. XXIX, pag. 57.

(2) *Antologia* di Firenze. Fascicolo di luglio, 1835; pag. 175.

principii, si osserva nei livelli a bolla d'aria. Riscaldando il tubo lateralmente alla bolla, anche col semplice calore della mano, se la temperatura dell' ambiente non è molto elevata, la bolla stessa si muove verso la parte riscaldata. Sul filo metallico, superiormente considerato, è la goccia liquida aderente col solido, che si muove in causa della diminuita adesione prodotta dal riscaldamento, e il moto risulta in direzione contraria a quello della massa d'aria nei livelli. Il contrario moto della bolla d'aria e quello della goccia liquida, è prodotto dal moversi il liquido nello stesso verso nei livelli come nelle sperienze di Libri. Infatti in quelli l'aumento di temperatura del tubo da un lato della bolla, diminuisce l'adesione del liquido colla superficie del vetro; mentre dall'altro lato l'adesione stessa conserva il suo primitivo vigore. Le due forze dunque, che obbligano la massa d'aria a rimanere stazionaria nel mezzo del tubo, non sono più eguali, prevalendo quella della parte non riscaldata che spinge la bolla verso il punto, ov'è stato applicato il calore. Il fenomeno quindi sembra che dipenda dalla sola adesione, e non dall' azione di questa combinata colla coesione del liquido, ossia dalla capillarità (§. 86), come crede il professore Belli (1).

100. Alla categoria medesima appartiene il fenomeno che si osserva in una goccia d'acqua posta sopra una lamina arroventata. La goccia liquida, invece di mettersi aderente alla superficie solida e di trasformarsi poscia in vapore posta sopra un corpo ad una temperatura tanto elevata, scorre talvolta qua e là e quindi si mette in riposo senza distendersi sulla superficie riscaldata e senza dissiparsi celeramente in vapore. Per farne la prova su piccole masse, si fa arroventare un crogiuolo o un cucchiaio di metallo, in cui si lascia cadere qualche goccia d'acqua: questo liquido si dispone sulla superficie arroventata sotto forma sferoidale, come succede del mercurio sul vetro e dell' acqua sulle foglie dei vegetali inumidite dalla rugiada (§. 82); e la goccia resta in quiete qualche tempo, oppure gira sopra sè stessa con un movimento assai rapido, senza dar segni d'ebollizione e senza diminuire sensibilmente di volume. Levando il vaso metallico dall'azione del fuoco per lasciarlo raffreddare, si giunge ad una temperatura in cui il liquido bagna la superficie del metallo, bolle e si dissipa ben presto in vapore.

Questo fenomeno singolare è stato studiato ultimamente da Boutigny, il quale ha publicato una Memoria contenente parecchi fatti

(1) Si vegga il tom. XX delle *Memorie della Società italiana delle scienze*.

interessanti (1). Egli ha trovato che tutti i corpi, sui quali sinora ha sperimentato, possono presentare il fenomeno, appellato da lui, per evitare le circonlocuzioni, *stato sferoidale*. Si credeva per l'addietro che le gocce d'acqua cessassero di rimanere in quello stato al calore rosso, ma Boutigny è giunto, quantunque con molta difficoltà, ad ottenere lo stato sferoidale dell'acqua alla temperatura di 142° centesimali. Egli ha trovato che il liquido allo stato sferoidale si evapora con molta lentezza, e che lo sferoide d'acqua, posto su lamine arroventate, ha la temperatura di 96°,5 centesimali, cioè al di sotto di quella voluta per l'ebollizione del liquido. Tosto che la massa d'acqua cessa di conservare lo stato sferoidale e si distende e bagna la superficie metallica, il termometro sale a 100° e il liquido entra repentinamente in ebollizione e si dissipa in vapore.

Il calorico dunque, di cui è investita la lamina metallica, impedisce l'adesione di questa col liquido, il quale, secondo le sperienze di Boutigny, riposa sopra uno strato di vapore interposto alla lamina ed allo sferoide. Questo strato impedisce il contatto del liquido colla superficie solida e quindi l'adesione; come pure la comunicazione del calorico dal metallo alla massa liquida, su di che parleremo trattando di quell'agente imponderabile.

101. Dallo stato sferoidale che prende l'acqua sui corpi riscaldati a grandi temperature, si spiega il fenomeno, di cui diedo conto Perkins all'Academia di Parigi, nella tornata del giorno 27 agosto 1817. All'estremità del cilindro generatore d'una machina a vapore, egli vi assicurò per un foro un tubo di ferro di quasi un metro di lunghezza e di 12 in 13 millimetri di diametro interno, munito d'una chiavetta o *robinetto*. Dall'altra estremità del generatore vi era applicata una valvola carica di circa 43 chilogrammi per ogni centimetro quadrato. Il tubo fu arroventato e l'acqua del generatore elevata a tale temperatura, che il vapore in esso prodottosi sforzò e sollevò la valvola; ma a quella temperatura, aperta la chiavetta, il vapore acqueo non usciva dal tubo addizionale. Lasciando raffreddare il tubo, si giunge ad una temperatura, a cui il vapore esce con impeto pel medesimo.

102. I moti giratori o vertiginosi della canfora e di altre materie sull'acqua e sopra certi liquidi, possono essere riferiti alle dottrine su esposte. In un piatto di porcellana si versi dell'acqua all'altezza

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc. di Majocchi, tom. XIV, pag. 225 e tom. XV, pag. 117.

di alcuni millimetri, in modo che su di essa possano liberamente galleggiare delle particelle di canfora della grossezza d'un granello di lente. Queste particelle poste sullo strato d'acqua, prendono un celere movimento giratorio, il quale tosto cessa versando sull'acqua una goccia d'olio. In altra opera ho analizzato questo e parecchi consimili fenomeni (1), i quali sembrano dipendere dall'attrazione fra le particelle solide e il liquido su cui galleggiano, attrazione che, per la maggior superficie e per altre circostanze, si manifesta più intensa da un lato che dall'altro e produce quei movimenti. Fenomeni somiglianti si hanno dalle gocce d'un liquido cadente da piccola altezza sulla superficie d'un bagno dello stesso liquido, le quali rimangono per qualche tempo galleggianti senza unirsi alla massa sottoposta, e sdrucciolano e scorrono sulla superficie della medesima, e talvolta nella loro caduta rimbalzano (2).

103. Una delle principali applicazioni delle leggi dell'attrazione, è quella con cui si spiegano alcuni effetti di ascensione e di abbassamento di liquidi negli spazi detti *capillari*; perchè vennero osservati dapprima in tubi stretti ed angusti, del diametro interno non molto più grande della grossezza d'un capello. Chiamasi pertanto *tubo capillare* quello in cui un liquido si mette ad un livello più elevato o più basso della superficie orizontale e piana, che esso prende naturalmente all'esterno del tubo; e dicesi in generale *spazio capillare* quello rinchiuso da superficie piane o curve, dove abbia luogo un tal fenomeno. La forza o la causa, che, a dir vero, è la stessa attrazione molecolare, si appella in questo caso *azione capillare* o semplicemente *capillarità*; la quale, come si è notato (§. 86), dipende dall'azione simultanea della coesione del liquido e dell'adesione di questo col solido.

Allorquando un tubo capillare s'immerge in un liquido succede generalmente uno dei fenomeni annunziati, i quali ora verremo dichiarando. Se il tubo è fatto di materia che possa essere bagnata dal liquido in cui viene immerso, questo ascende nel tubo al di sopra del livello esterno. Che se la materia del tubo sia di tal natura da non essere atta a bagnarsi ed attrarre a sè il liquido, questo nel tubo rimane depresso al disotto del proprio livello esterno. Il primo fenomeno avviene immergendo un tubo di vetro nell'acqua; il secondo immergendo un tubo della stessa materia nel mercurio. Questi sono

(1) Vedi la mia *Fisica popolare*, tom. I, pag. 198 e seguenti.
(2) Vedi la stessa, tom. I, pag. 201 e seguenti.

i due fatti fondamentali della dottrina della capillarità, che si ottengono non solo coi tubi capillari, ma eziandio negli spazii capillari; di tale grandezza, cioè, da essere compresi nell'intervallo che determina l'innalzamento o l'abbassamento del liquido nei medesimi. Il fenomeno dell'innalzamento è conosciuto sin dalla metà del secolo decimosettimo, quello dell'abbassamento venne trovato più tardi. Parecchi fisici studiarono questi fatti, dei quali, dopo vaghe ipotesi o spiegazioni incomplete, si trovò nel corrente secolo coll'aiuto anche dell'analisi matematica la causa che concorre alla loro produzione. Noi procureremo di dare un'idea del modo con cui si spiegano i fenomeni capillari (1).

104. *L'adesione* della materia solida del tubo col liquido entro cui viene immerso, e la *coesione* delle molecole liquide per se stesse, sono le due specie d'attrazione, da cui dipendono gli effetti della capillarità (§. 86). Analizzando pertanto l'azione di queste due forze e tenendo ben anche conto dell'altra specie d'attrazione, della gravità del liquido; si dimostra col calcolo che quando s'immerge una lamina piana in un liquido, qualora si chiami φ l'adesione ed f la coesione, possono accadere tre casi, che danno luogo a tre fenomeni ben distinti, secondo la natura del liquido e della materia di cui si compone il tubo. Quando $\varphi=1/2f$, la superficie del liquido si mantiene orizontale attorno alla lamina solida posta verticalmente, e fanno fra loro un angolo retto qualunque sia la posizione della lamina; che se è $\varphi>1/2f$, il liquido si eleva accanto alla lamina, e fa con questa verso la parte superiore un angolo ottuso; infine essendo $\varphi<1/2f$, il liquido a contatto colla lamina si abbassa intersecando la superficie della lamina verso la parte demersa ad angolo acuto.

Nel caso di tubi capillari, se l'adesione del solido col liquido è eguale alla metà della coesione di quest'ultimo ossia $\varphi=1/2f$, si dimostra coll'analisi matematica che la superficie del liquido stesso si dispone allo stesso livello tanto nell'interno che all'esterno del tubo, ed è piana conforme alle leggi dell'Idrostatica, che apprenderemo nella fisica particolare dei corpi ponderabili; ossia non ha luogo il fenomeno delle capillarità. Quando è $\varphi>1/2f$, il liquido si attacca alle pareti del tubo capillare e la superficie nell'interno di esso diventa concava: la concavità aumenta quanto più φ supera $1/2f$, con-

(1) Chi amasse di conoscere le spiegazioni, che si davano dei fenomeni capillari e i risultati del calcolo, può consultare la mia *Fisica popolare*, tom. I, p. 204 e seguenti.

formandosi in un emisfero concavo tosto che φ giunge ad eguagliare f. In questa eguaglianza il liquido s'innalza lungo la parete del tubo, sino a terminare colla sua curvatura tangente alla lamina solida. Al contrario essendo φ minore di $1/2f$, la superficie del liquido nel tubo prende la curvatura convessa, la quale diventa circolare o un emisfero, che ha per diametro quello del tubo, allorchè $\varphi=0$. Importa di ben notare la forma, che prende in ambidue i casi la superficie liquida nel tubo, che per ciò rappresentiamo in grande nelle sezioni colle figure 5 e 6. Imperciocchè colla forma stessa varia la coesione della massa liquida su se medesima, e determina nel tubo l'innalzamento o l'abbassamento del liquido, relativamente al livello esterno del medesimo.

Onde comprendere l'influenza che la coesione esercita nei fenomeni capillari, per la forma che superiormente prende la superficie del liquido, imaginiamo in un tubo contenuta una massa liquida, la quale da un lato termini in una superficie piana e dall'altro in una superficie convessa. Si concepisca una tal massa distinta in tanti filetti o colonnette parallele fra loro e perpendicolari alla superficie piana: queste, dalla parte ove terminano alla convessità, saranno attratte dalla coesione verso l'indentro e obbligate a moversi verso la superficie piana, indipendentemente anche dalla gravità del liquido. Sarà agevole altresì il comprendere che, se la data massa terminasse concava dalla parte dove l'abbiamo imaginata convessa, gli estremi dei filetti liquidi, che trovansi a quella superficie così incurvata, saranno attratti all'infuori, ossia saranno costretti ad allontanarsi dall'estremità piana della medesima massa liquida.

105. Ammessi questi principii sul modo con cui esercitano la loro influenza, l'adesione e la coesione, veniamo a mostrare come con esse si spiegano i fenomeni capillari. S'imagini un tubo immerso per una sua estremità in un liquido. Il rapporto fra l'adesione φ e la coesione f, determinerà il liquido stesso a prendere nel tubo o la forma di superficie piana, o di superficie concava, o di superficie convessa. Nel primo caso, in causa della coesione del liquido per se stesso, gli estremi superiori dei filetti della colonna liquida nel tubo non saranno attratti nè verso l'alto, nè verso il basso, e quindi il liquido starà nel tubo allo stesso livello di quello esterno. Nel secondo caso in cui il liquido termina in una superficie concava, gli estremi dei filetti liquidi verranno costretti ad elevarsi, e questa loro tendenza farà sì per l'equilibrio colla pressione esterna, che il liquido s'innalzi al di sopra del livello esterno. Nel terzo caso finalmente ac-

cadrà tutto il contrario, ed il liquido si abbasserà nel tubo. Le formole poi, ottenute per tali fenomeni, dimostrano che questi innalzamenti ed abbassamenti, seguono la ragione inversa dei diametri dei tubi o degli spazii capillari, come viene altresì confermato dall'esperienza. I liquidi s'elevano o si deprimono dentro quegli angusti spazii più o meno secondo la loro natura e quella della materia del tubo, ossia secondo il rapporto delle forze d'adesione e di coesione.

Tale è la base della dottrina matematica dei fenomeni capillari: essa parte da questa sola fisica osservazione: *Che la superficie dei liquidi nei tubi di piccolo diametro non è una superficie piana, ma essa è concava o convessa secondo la natura dei liquidi;* da cui segue che sono più alti o più bassi del loro livello, per essere così la forza all'insù aumentata o diminuita. *Ma se si domanda, perchè i differenti liquidi prendono l'una o l'altra forma? È evidente non esservi altra ragione che la differenza d'attrazione, che abbiamo già esaminata.*

106. Le sperienze di questa specie furono istituite da parecchi fisici con tubi di vetro e con differenti liquidi. Esse richiedono, quando si tratta di confronti, molta cura per escludere tutte le circostanze accidentali, che possono influire sui risultati, ed un apparato apposito per osservarne in ogni caso l'altezza (1). Ecco alcuni risultati ottenuti da Gay-Lussac. In un tubo di vetro bianco, del diametro interno (2) di millimetri 1,2944, l'acqua alla temperatura di 8°,5 centesimali aveva il punto infimo della sua concavità elevato sul livello esterno del liquido di millimetri 23,1634. Un altro tubo di vetro, il cui diametro era di millimetri 1,9038, presentava l'acqua elevata a millimetri 15,5861. Da queste due determinazioni si ricava che *le altezze, cui si mette il liquido nei due tubi di diverso diametro, seguono la ragione inversa dei diametri dei tubi medesimi.*

L'alcoole della densità di 0,81961 e dalla temperatura di 8° centesimali si è elevato rispettivamente in quei due tubi di millimetri 9,1823 e di millimetri 6,4012, e l'essenza di trementina della densità di 0,86946 ed alla stessa temperatura si è innalzata nel primo tubo di millimetri 9,8516. Si deduce pure dalla prima sperienza che l'alcoole segue nell'innalzamento nei tubi capillari la legge annunziata. L'elevazione del medesimo liquido nello stesso tubo, diminuisce poi

(1) Un tal apparato può vedersi descritto colla relativa figura nella mia *Fisica popolare*, tom. I, pag. 217 e seguenti.

(2) Per valutare il diametro di tubi così angusti, si vegga il metodo che si usa nel suddetto tomo della *Fisica popolare*, pag. 221.

col crescere la temperatura. E si è trovato che l'elevazione nell'intervallo di temperatura del ghiaccio deliquescente a quella dell'acqua bollente, prova una diminuzione nel rapporto di 5 a 4.

Per gli abbassamenti si esperimenta con tubi di vetro e con mercurio ben puro ed asciutto. Si è trovato pure che le depressioni seguono la ragione inversa dei diametri dei tubi.

107. Per mostrare in una scuola i fenomeni dell'elevazione e della depressione dei liquidi nei tubi capillari, serve opportunamente l'apparecchio rappresentato nella fig. 7. Consiste in una tavoletta verticale di legno, cui sono applicati molti tubi comunicanti coi rispettivi rami fra loro paralleli. Il tubo di mezzo ha i due rami d'egual diametro. I rami rispettivi B, B', dei tubi comunicanti laterali, hanno un diametro abbastanza grande per non aver effetto la capillarità; mentre i rami rispettivi *b*,*b'* dei medesimi tubi sono capillari, essendo *b'* di diametro più piccolo di quello *b*. I tubi posti tanto dall'uno che dall'altro lato, sono rispettivamente eguali due a due. Sulla tavoletta sono tracciate parecchie orizzontali distanti un millimetro l'una dall'altra, e per esse si riconoscono le differenze d'altezza nei due rami d'un medesimo tubo comunicante.

Nel tubo di mezzo si versa acqua oppure mercurio, dove, avendo i due rami l'egual diametro, il liquido si disporrà al medesimo livello. I due tubi posti da un lato contengono acqua, gli altri due collocati dal lato opposto mercurio. I primi mostrano che il liquido s'innalza in ciascun ramo più piccolo al disopra del livello di ciascun ramo più grande corrispondente; e questa differenza d'elevazione si riconosce maggiore nel tubo comunicante che ha il ramo più angusto. Gli altri due tubi comunicanti fanno vedere il mercurio depresso nel ramo di più piccolo diametro, in confronto del livello del liquido nell'altro ramo; e la maggiore depressione si riconosce appunto nel ramo più ristretto.

108. Allorquando s'immergono in un liquido due piani paralleli posti a poca distanza fra loro, succedono pure i fenomeni capillari, ed il liquido resta fra essi elevato o depresso in confronto del suo livello esterno. Con due lamine di vetro si ha l'elevazione se esse s'immergono nell'acqua, e l'abbassamento se sono immerse nel mercurio. *Questi cambiamenti seguono la stessa legge della ragione inversa delle distanze fra i due piani.* L'elevazione o la depressione poi del liquido fra i due piani riesce la metà di quella, che si osserva in un tubo, della stessa materia e di diametro eguale alla distanza fra i due piani, immerso nel medesimo liquido. Questo risultato è

confermato anche dalle formole. Se le lamine sono inclinate o fra loro divergenti in modo di comprendere spazii capillari sempre crescenti, l'elevazione o la depressione forma una curva, di cui si può determinare la natura, ed è una perbola equilatera, nella quale le altezze del liquido in ciascun punto sono le ordinate all'assintoto e le normali rispettive le ascisse.

109. Il rapporto dell'adesione alla coesione determina la superficie del liquido a prendere una forma concava o convessa, nella quale la risultante dell'attrazione del liquido per se stesso agendo in un verso piuttosto che nel contrario, produce l'innalzamento o l'abbassamento nello spazio capillare. Se quindi con un mezzo qualunque si faccia variare la forma della superficie superiore, gli effetti sopra i filetti liquidi subiranno parecchi cambiamenti analoghi. Si prenda un tubo capillare incurvato a sifone (fig. 8), e s'immerga nell'acqua colla curvatura rivolta verso il basso, in maniera che il ramo più corto si trovi al di sotto del livello del liquido ed entri questo nel tubo. L'acqua, secondo le leggi su esposte, s'innalza nell'altro ramo ad un'altezza, che verrà misurata colla maggiore esattezza possibile. Ora si estragga il tubo dall'acqua del vaso, facendo però in modo che in esso vi rimanga tanto liquido, che non giunga alla sommità del ramo più corto. L'acqua si metterà nei due rami d'egual diametro allo stesso livello *hh*, prendendo alle due superficie la forma concava come mostra il tubo B della figura. Introducendo poscia nuovo liquido nel tubo in modo che giunga alla sommità del ramo più corto, si osserva che, a misura l'acqua s'innalza, la superficie del ramo più corto cambia la sua forma, la concavità diminuisce e tende a trasformarsi in un piano. Quando questo si è ottenuto, come nel tubo C, si trova che l'altezza *hb'* dell'acqua nel ramo più lungo è precisamente eguale a quella cui giungeva lorchè il tubo era sommerso col ramo più corto nello stesso liquido. Introducendo nuova acqua nel tubo, la superficie liquida del ramo più corto incomincia a diventare convessa e prendere la forma d'una goccia. Quando nel tubo A la convessità *a'* è eguale alla concavità *b'*, allora il liquido perviene alla sua maggiore elevazione *hb'*, la quale risulta doppia di quella *hb* nel tubo C, la cui superficie liquida era piana.

Questi fenomeni sono una conseguenza anzi uno schiarimento ed una conferma dei principii esposti, intorno all'azione capillare. Trovandosi in ambidue i rami del tubo B due concavità eguali *h,h*, il liquido deve necessariamente mettersi in essi all'egual livello, perchè le due forze attraenti sono opposte ed eguali. Che se nel ramo più

corto del tubo C la superficie *a* è piana, mentre *b* è concava, allora prevale in questa una forza attraente all'insù, la quale fa elevare l'acqua nel tubo per equilibrarsi coll'eccesso d'una colonna liquida. Finalmente essendo la superficie liquida, all'estremità del ramo più corto del tubo A, una goccia convessa *a'*, mentre nel più lungo si forma la superficie concava *b'*; per queste due forme le forze attraenti del liquido sono cospiranti e tendono egualmente ad elevare il liquido stesso nel ramo più lungo del tubo. La forza attraente nella goccia convessa *a'* è diretta a far abbassare il liquido nel ramo più corto e quindi a spingerlo e ad elevare la colonna nel ramo più lungo. L'azione attrattiva nella superficie concava *b'* tende pure a sollevare la rispettiva colonna liquida, e riesce per tal modo cospirante colla forza precedente ed aumenta l'elevazione. Siccome poi le due forze sono eguali; così l'altezza riesce doppia di quando la superficie liquida del ramo più corto è piana.

Egli è per ciò che in un tubo diritto, tenuto verticale, può stare sospesa una colonna d'acqua più o meno grande, estraendo il tubo stesso dall'acqua del vaso, in cui era immerso. Se inferiormente il liquido si dispone in una superficie piana, allora la colonna sospesa nel tubo ha una certa altezza, ed ha un'altezza maggiore ed anche doppia se la superficie liquida inferiore forma all'infuori una goccia convessa. Osserviamo inoltre che dai tubi capillari, ben anche più corti dell'altezza cui in essi prenderebbe l'acqua, non può fluire nè scorgare il liquido dalla loro sommità, per formarsi su di essa la goccia rotonda, nella quale la risultante della coesione è diretta ad abbassare il liquido e ad equilibrare l'adesione, che tende a disporlo in modo da elevarsi.

110. I fenomeni seguenti dipendono pure dall'azione capillare. Si abbia un globetto cavo *ab* (fig. 9) di vetro, munito di due tubulature, ed una *a* molto capillare e l'altra *b* di diametro più grande. Si riempisca esso d'acqua tenendo chiuso con un dito il foro della tubulatura, che per tale operazione si rivolge nella parte inferiore, e poscia si disponga come mostra la figura. A malgrado che si levi il dito da ambedue le tubulature, l'acqua sta sospesa nel recipiente di vetro. Il fenomeno avviene in causa dell'azione capillare molto energica nel tubo sottile *a*, e piccolissima o quasi nulla nell'altro *b*, secondo la grandezza di questo tubo. Se il globetto pieno d'acqua si disponesse colla tubulatura molto capillare rivolta a basso, come è *cd*, allora l'acqua scolerebbe per questa tubulatura e si vuoterebbe ben presto il recipiente; giacchè in questo secondo caso l'azione

capillare è cospirante e non contraria alla gravità del liquido, per cui facilita la sua caduta. Per chi non conosce la dottrina della capillarità, pare strano che l'acqua non esca dal vasetto per la tubulatura grande rivolta verso il basso, ed al contrario l'uscita abbia luogo quando la piccola tubulatura è rivolta all'ingiù.

Si può eziandio versare nel globetto del mercurio, ed avere il medesimo fenomeno con questo liquido. In tal caso il globetto medesimo deve essere rivolto colla tubulatura capillare verso il basso, come è *cd*. La grande convessità che prende il mercurio nello spazio capillare *c*, dà nascimento ad una forza molto energica, che tende a spingere il liquido dentro il vaso ed a fare quindi equilibrio colla gravità della colonna liquida.

I due fenomeni avvengono quando le tubulature *b*, *d* dei due globetti non siano capillari, e quando la capillarità delle altre due *a*, *c* sia tale da tenere sollevata l'acqua ad un'altezza per lo meno eguale alla distanza *ab* fra le due estremità del liquido, e da tenere depresso il mercurio per lo meno ad un livello, la cui profondità sia eguale alla distanza fra le due estremità *cd* di questo globetto. Con ciò si spiega come si possa trasportare una certa quantità di mercurio in uno staccio senza ch'esso trapeli pei suoi fori; come pure l'altro di portar l'acqua fra due stacci, l'uno dei quali a fori molto angusti e fitti sia posto superiormente, mentre l'altro a fori larghi e rari stia al disotto. Si hanno qui tanti recipienti somiglianti al globetto *ab* per l'acqua ed all'altro *dc* pel mercurio.

111. Alcuni avvicinamenti ed allontanamenti di corpi galleggianti su liquidi si credevano una volta prodotti da attrazioni e ripulsioni, che si manifestassero nella materia dei corpi medesimi; mentre dipendono dalla capillarità, come veniamo a dichiarare.

Si abbiano alcune sferette formate di differenti materie e di tale densità da poter galleggiare sopra un liquido, per esempio sull'acqua. Alcune di esse siano di tale natura da essere bagnate dal liquido, su cui si mettono a galleggiare; ed altre non abbiano col medesimo un'adesione tale da restarne umettate. Si hanno con queste sferette i tre fatti seguenti:

I. Se le due sferette galleggianti si bagnino del liquido, venendo poste ad una piccola distanza fra loro, esse si avvicinano l'una all'altra come se reciprocamente si attraessero.

II. Quando le due sferette non si bagnino del liquido su cui galleggiano, riavvicinate fra loro ad una piccola distanza, esse si precipitano l'una sull'altra come se vi fosse fra le medesime una mutua attrazione.

III. Che se l'una delle due sferette è formata di materia che si bagni del liquido, mentre l'altra non si umetta del medesimo, venendo poste fra loro ad una piccola distanza, si osserva che esse si allontanano l'una dall'altra come se scambievolmente si repellessero.

Nessuno di questi tre fenomeni succede quando le sferette, invece di riposare sopra un liquido, siano appese a sottilissimi e flessibilissimi fili, ed abbiano tutta la libertà di moversi. Le sferette, per istituire le tre sperienze indicate, si possono formare di sovero ben pulito, tenute immerse per qualche tempo nell'acqua, onde siano facilmente bagnate da questo liquido. Le altre si fanno pure di sovero, ma si affumica la loro superficie, onde coprirle d'uno strato di nero fume, che impedisca ad esse di essere bagnate dall'acqua, su cui si mettono a galleggiare. Si ottengono gli stessi fenomeni con corpi di differente forma della sfera.

Incominciamo a spiegare il primo fatto, quando cioè le pallottole si bagnino del liquido. In questo caso le palle stesse si vestono all'intorno d'una zona liquida, che s'innalza sul livello ordinario. Finchè le palle A, B (fig. 10) stanno ad una certa distanza fra loro, la massa d'acqua, che a ciascuna di loro è attaccata all'intorno, resta egualmente ed uniformemente distribuita. La zona d'acqua, pel suo peso, tende ad imprimere a ciascuna sferetta dei moti in più versi: cioè porzione di quell'acqua tende a farla maggiormente affondare, e la fa affondare di più che porta il solo peso della sferetta; l'altra porzione della gravità dell'acqua è diretta ad imprimere alla pallottola un moto rotatorio di translazione orizzontale, il quale avrebbe il suo effetto se questo sforzo non venisse egualmente esercitato per ogni verso, e quindi non si elidesse da sè. Le due sfere quindi A, B finchè si trovano fra loro ad una certa distanza, nella quale non succede verun cambiamento nella zona liquida da cui sono circondate, rimarranno in quiete. Ma quando esse prendono le posizioni A', B' e sono riavvicinate in modo da comprendere fra loro uno spazio capillare, allora l'acqua si solleverà in esso ad un livello maggiore dell'esterno, e per questa maggior quantità d'acqua sollevata risulterà maggiore nell'interno la forza, che tende ad imprimere loro un moto rotatorio orizzontale, per cui saranno obbligate in virtù della prevalenza della forza interna ad avvicinarsi l'una all'altra.

Nel secondo fatto le sferette non si bagnano del liquido, e questo si deprime egualmente all'intorno di ciascuna delle medesime, formando un angolo acuto colla parte demersa della palla (§. 104), come si scorge nella posizione P delle due sferette (fig. 11). Sin

tanto che le due pallottole si troveranno fra loro ad una certa distanza, la depressione del liquido all'intorno rimarrà eguale, per cui non vi potrà essere verun movimento nè da una parte nè dall'altra. Ma tosto che le due sfere sono poste l'una vicino all'altra, in modo che lo spazio interposto divenga capillare, come in Q; allora per le dottrine spiegate il liquido in quello spazio si deprimerà al disotto del proprio livello di più di quanto avviene esternamente, e le palle premute all'infuori si getteranno in quella fossetta generata dalla capillarità, accostandosi l'una all'altra.

Non riesce difficile lo spiegare il terzo fatto delle due pallottole, l'una delle quali si bagna del liquido e l'altra no, e che, essendo poste fra loro vicine, si allontanano in modo da far credere esistente in esse una forza ripulsiva. Imperciocchè la sferetta, che non ha abbastanza adesione col liquido per esserne umettata, il liquido stesso si abbasserà all'intorno della medesima; e quando è posta a poca distanza da quella che ne è bagnata, essa verrà sospinta dalla pressione esercitata dal liquido elevato all'intorno della sferetta umettata. Nella prima posizione P (fig. 12) la distanza è tale che niuno movimento succede nelle due sferette, nell'altra Q lo spazio è capillare, le due curvature del liquido s'intersecano e le sferette si discostano l'una dall'altra.

112. La capillarità spiega per qual cagione la spugna, la carta suga, il sale, lo zucchero, l'argilla, i legni ed altri corpi s'imbevano facilmente d'acqua o d'altri liquidi, coi quali vengono posti a contatto: come pure s'intende per qual cagione l'olio, il sego, la cera, ecc. salgono nei lucignoli ad alimentare la fiamma che produce l'illuminazione. Considerando attentamente questi corpi, si scorge ch'essi sono sparsi di piccoli interstizii (§. 58), nei quali i liquidi ascendono come fanno nei tubi capillari di vetro.

113. Entrando in tal modo i liquidi negl'interstizii dei corpi, ne risulta che questi si dilatano. Tale è la causa per cui nei tempi piovosi le porte degli usci e le imposte delle finestre, imbevutesi d'umidità, s'ingrossano e non possono più chiudersi. Così le assi e i pavimenti di legno colà soltanto si dilatano, ove sono di sovente inumidite; mentre le loro dimensioni non vengono nelle altre parti alterate, sicchè è forza che s'incurvino. La proprietà, che hanno i corpi imbevuti d'un liquido di dilatarsi, vien posta in uso con profitto nelle cave di pietre. S'introducono alcuni cunei di legno in piccole fenditure fatte nel sito, da cui si vuole staccare la pietra, e questi cunei bagnati poscia continuamente con acqua s'ingrossano e staccano

la pietra dalla cava. Parimente le corde inumidite s'ingrossano e quindi si accorciano: Si racconta appunto come tale proprietà sia stata posta in opera con vantaggio dal Fontana nell'erezione a Roma del famoso obelisco di Sisto V. L'enorme masso non era del tutto drizzato sulla sua base, quando le funi non potevano più scorrere sulle rotelle delle taglie, per essere queste giunte fra loro a contatto. S'inumidirono allora le funi, le quali si raccorciarono e trassero l'obelisco nella posizione verticale sulla base.

114. La capillarità sembra che concorra a sollevare il succhio nutritivo nei canaletti angusti delle piante e dei vegetali viventi, i cui tessuti formano appunto un complesso di spazii capillari. La circolazione però di questo succhio nelle piante succede in virtù della loro forza organica che non conosciamo. Infatti, un tronco d'albero, levato dal suo ceppo, cessa di vegetare e di crescere, non perchè manchino i canaletti capillari per assorbire i liquidi nutrienti, mà perchè la forza organica, che manteneva la circolazione, è distrutta. Halles, nella sua *Statica dei vegetali*, non solo ha comprovato coll'esperienza la facoltà assorbente delle piante, ma ben anche ne ha stabilito la misura nelle diverse circostanze.

115. Dall'attrazione molecolare e forse dalla stessa azione capillare dipendono i fenomeni, che vengono chiamati da Dutrochet *endosmosi* ed *esosmosi* (1). Una specie d'imbuto rovesciato di vetro, il cui cannello si prolunga ed è aperto superiormente, mentre l'imbuto nella parte inferiore è chiuso da una membrana animale ben distesa, chiamasi *endosmometro*. Si empisca questo recipiente d'una soluzione di sale o di zucchero sino ad una certa altezza del cannello, e poscia s'immerga nell'acqua pura, contenuta in un vaso più largo, ad una profondità tale che i due liquidi nel cannello e nel vaso al trovino allo stesso livello. Quando s'intraprendono indagini con questo strumento il cannello o il tubo deve avere una scala con gradi di eguale capacità, oppure essere esattamente calibro e diviso nella sua lunghezza in millimetri.

Lasciando per alcune ore l'apparato così disposto, si osserva che l'acqua pura attraversa a poco a poco la membrana, entra nell'endosmometro, ed il liquido s'innalza nel cannello o nel tubo in modo da sormontarne ben anche l'orlo superiore. Questo fenomeno si

(1) *Nouvelles recherches sur l'endosmose et l'exosmose*. Parigi 1828; e l'altra opera dello stesso Dutrochet: *De l'agent immédiat du mouvement vital* ecc, pubblicata alcuni anni prima.

chiama *endosmosi*. Se il recipiente imbutiforme col tubo si empisca invece d'acqua pura, mentre nel vaso è contenuta la soluzione salina, allora l'acqua stessa passa ancora a traverso la membrana e si mescola colla soluzione del vaso, abbassandosi così il livello del liquido nel tubo del endosmometro. Il fenomeno in questo caso, inverso del precedente, è appellato *esosmosi*.

L'endosmosi e l'esosmosi succedono eziandio con altri liquidi e con altre soluzioni differenti dalle mentovate, come acqua albuminosa, soluzione di gomma, soluzioni alcaline ed acide. Fra l'acqua pura e quella allungata con acido solforico il fenomeno però non ha luogo; mentre avviene adoprando l'acido acetico, il nitrico, il cloridrico. In tutti questi casi è il liquido meno denso, qual è l'acqua, che passa a traverso la membrana animale e si unisce a quello più denso, quale è una delle mentovate soluzioni. Se si sottopongono al cimento nell'egual modo l'acqua e l'alcoole, allora è il liquido più denso che s'infiltra per la membrana e si unisce a quello meno denso, è cioè l'acqua che passa a rimescolarsi coll'alcoole. L'endosmosi succede anche con diverse membrane vegetabili, e con sottili lamine di terra cotta, d'ardesia calcinata, d'argilla (1).

116. Dutrochet, Parrot (2), Fischer (3) e qualche altro fisico del presente secolo si disputarono la scoperta del fenomeno dell'endosmosi; quando Bellani ha trovato che sin prima della metà del trascorso secolo un tal fenomeno era conosciuto per una esperienza istituita da Nollet (4). Egli riempì una fiala cilindrica d'alcoole, la coprì con un pezzo di vescica bagnata e legata all'orlo del recipiente, e la sommerse in un vaso pieno d'acqua. A capo di alcune ore si trovò che nella fiala si era introdotta dell'acqua, giacchè la pelle di vescica si era gonfiata pel nuovo liquido introdottosi; e da piana era divenuta convessa. La tensione della pellicola animale era tale che, avendola traforata con uno spilletto, ne sortì un getto liquido dell'altezza di parecchi decimetri.

Per assicurarsi che il rigonfiamento della vescica era prodotto in virtù dell'acqua entrata nella fiala a rimescolarsi coll'alcoole passando a traverso la membrana della vescica, istituì quest'altra esperienza, che è l'inversa della precedente. Riempì d'acqua la fiala, che chiuse

(1) Si veggano le esperienze istituite con diverse membrane animali da Matteucci a Cima, negli *Annali di Fisica* ecc. di Majocchi T. XVI. pag 84.

(2) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, T. I. pag. 200.

(3) Lo stesso pag. 201.

(4) *Annali di Fisica, Chimica ecc.*, di Majocchi, T. X. pag. 275.

Digitized by Google

egualmente colla pelle di vescica e la sommerse nell'alcoole contenuto in un vaso. Dopo un certo tempo vide quel tappo membranoso incurvarsi all'indentro e presentare esternamente una superficie concava, e l'acqua nel collo della fiala diminuita in altezza lasciando per qualche parte un vuoto. I due liquidi in ognuna delle sperienze avevano la medesima temperatura; talchè il fenomeno non poteva in veruna maniera dipendere da una differenza di calore.

Questa esperienza riceve un'importante applicazione nell'economia domestica. Quando un liquido spiritoso si chiude in vasi con pellicole animali ed anche con tappi di sovero non incatramati, sarà bene che il liquido nell'interno non giunga sino a contatto col tappo; imperciocchè l'umidità dell'aria esterna potrebbe, per endosmosi, farsi strada a traverso della pelle o dello strato di sovero, e frammischiarsi col liquore contenuto nel vaso. È lodevole quindi l'uso introdotto di coprire la superficie superiore del liquido, rinchiuso in bocce, con uno strato d'olio.

117. L'endosmosi avviene anche fra i fluidi aeriformi di differente natura, posti nelle medesime circostanze dei liquidi. Imperciocchè è conosciuto da lungo tempo che diverse specie di gas rinchiusi in vesciche, che si lasciarono esposte nell'atmosfera, dopo due o tre giorni si trovarono rimescolati coll'aria (1). È conosciuto altresì che in un pallone areostatico, riempiuto di gas idrogeno e lasciato per qualche tempo così gonfiato per non avere potuto fare il volo in causa di accidenti impreveduti, il gas stesso si trova diminuito nel pallone. Succede dunque anche coi fluidi aeriformi una vera endosmosi.

118. La causa dei suddescritti fenomeni sembra dipendere dall'attrazione molecolare fra i due liquidi posti a rincontro l'uno dell'altro coll'intermedio della pellicola animale. Si è veduto che non è sempre il liquido meno denso che s'infiltra per la membrana, ma talvolta succede al contrario; per cui sembra che vi abbia influenza la natura dei due liquidi e quella della membrana; per cui potrebbe avervi parte l'elettricità se fosse compiuto il circuito. Ma di ciò non possiamo ora parlare; per cui intanto giova di notare che l'endosmosi e l'esosmosi non hanno per cagione una forza mecanica. Infatti, in luogo di riempiere compiutamente d'alcoole la fiala, come si fece precedentemente, se ne versi in minor quantità in modo che il liquido non giunga a toccare la vescica bagnata. Per quanto tempo la fiala

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, T. I. pag. 201.

stia sommersa nell'acqua, questa non entra nella medesima a rimescolarsi coll'alcoole, come si può assicurarsene misurandone il peso ed il volume. Ma se si rovescia la fiala e s'immerga così rovesciata nell'acqua, l'alcoole si appoggia sulla pellicola animale e si trova a rincontro dell'acqua coll'intermedio della vescica. Allora succede l'endosmosi, l'acqua attraversa la pellicola e si rimescola coll'alcoole. In questo combaciamento dei due liquidi pei pori della membrana, l'attrazione molecolare ha il suo effetto ed accade il fenomeno (1).

Si noti altresì che, per essere l'attrazione fra i due liquidi reciproca, l'endosmosi è sempre accompagnata da una lieve esosmosi; e se il combaciamento dura per molto tempo, il rimescolamento fra i due liquidi si fa completo ed essi si mettono a livello.

119. Il fenomeno dell'endosmosi deve avere una grande influenza nell'economia animale, dove molti liquidi scorrono in canaletti e si fanno strada a traverso pellicole ed integumenti per dar luogo alle diverse funzioni vitali. Interessava quindi di sperimentare l'endosmosi con pellicole animali lasciate nella loro posizione naturale senza distaccarle dalle parti con cui sono congiunte. Questo sperimento si è fatto con un uovo trovato in una gallina senza guscio calcare. Tenuto immerso nell'acqua si gonfiò presentando il fenomeno dell'endosmosi (2).

120. La seconda specie d'attrazione che noi abbiamo distinta è la *gravità* (§. 71). *In virtù di questa forza ogni corpo cade* o *tende a cadere verso il centro della terra*; imperocchè l'osservazione dimostra costantemente che la gravità tira i corpi liberi in direzioni perpendicolari alla superficie dei liquidi stagnanti sulla terra, cioè perpendicolari alla superficie sferica del nostro globo. Ora quelle direzioni prolungate dovranno passare pel centro della terra, come c'insegna la geometria; perciò la gravità attrae i corpi verso il centro della terra.

Noi qui osserveremo che non essendo la terra perfettamente sferica, tutti i corpi, rigorosamente parlando, non si dirigeranno verso il di lei centro. Ma siccome il semiasse polare sta all'equatoriale nel rapporto di 280 : 281, cioè la loro differenza è di 1|281, per cui la terra si può fisicamente considerare come sferica, e può dirsi che tutti i corpi cadendo si dirigono al centro della medesima.

121. I primi fatti che comprovarono essere la gravità una conse-

(1) Intorno alla causa dell'endosmosi si vegga la mia *Fisica popolare*, T. I. pag. 337.

(2) Vedi *Annalj di Fisica* ecc. di Majocchi, T. VI. pag. 174.

guenza dell'attrazione universale, ne furono somministrati da Bouguer e La Condamine, i quali nell'anno 1737 nel loro viaggio all'equatore osservarono che il filo a piombo, in causa dell'attrazione del vicino monte Chimborazo, deviava dalla verticale di 7" 1/2. Il Maskeline, incaricato nel 1774 di confermare questa importante osservazione, trovò che un monte di Scozia alto metri 570 faceva per la stessa cagione deviare il filo a piombo di 5", 8. Cavendish ha confermata questa verità con ingegnose sperienze istituite sull'attrazione reciproca di due globi, e Newton riteneva già essere la gravità effetto dell'attrazione reciproca dei corpi, avendo lasciato scritto che se esistesse un monte di figura conica della stessa densità della terra, alto 3 miglia e colla base del diametro di 6 miglia, esso farebbe deviare dalla verticale il filo a piombo posto in vicinanza del medesimo per un angolo di 2'.

122. La direzione che prendono i gravi cadendo liberamente chiamasi *linea a piombo* o *verticale*; ed una linea od una superficie che faccia angolo retto con questa direzione nominasi *linea* o *superficie orizzontale*. Dunque, rigorosamente parlando, due muri a piombo non sono paralleli, perchè prolungati s'incontrerebbero nel centro della terra. Nullsdimeno le direzioni dei gravi liberamente cadenti non molto distanti fra loro si possono considerare come parallele, giacchè le direzioni che prenderebbero due gravi, distanti fra loro 100 metri, s'unirebbero al centro della terra sotto un angolo di circa 1/10 di minuto, come si prova colla trigonometria.

123. *La velocità, che la gravità imprime ai corpi; è sempre eguale, di qualunque grandezza sia la loro massa.* Imperocchè se un corpo è dotato d'una massa doppia di quella d'un altro, avrà bensì il medesimo doppia quantità di gravità, ma questa doppia forza è anche impiegata ad attrarre un doppio numero di molecole. D'altronde fatte due parti eguali del corpo di doppia massa, è chiaro che ciascuna di queste cadrebbe con una velocità eguale a quella dell'altro corpo fornito soltanto della metà di massa; perciò le due parti anche congiunte insieme dovranno cadere colla stessa velocità; in quella stessa guisa che due cavalli d'egual vigore, tirando due pesi eguali, camminano a circostanze pari con egual velocità, sia che ciascuno dei medesimi tiri separatamente uno di quei due pesi eguali, sia che li tirino unitamente. Galileo sostenne pel primo questa proposizione col ragionamento (1) contro l'opinione d'Aristotele, e poscia la provò

(1) Dialogo I, pag. 549, e lettera al Bertazzolo, pag. 720, tom. 2°, edizione fior. 1718.

coll'esperienza. Egli fece cadere da una grande altezza diverse sfere d'oro, di piombo, di rame, di porfido, di cera, ed osservò che impiegavano quasi tutte il medesimo tempo per giungere a terra; giacchè la palla di cera, la sola che sofferse un ritardamento sensibile, non si trovava distante più di 13 centimetri dalla terra al termine della caduta degli altri corpi. Galileo, considerando questa differenza ben lontana d'essere proporzionale alla massa dei corpi, ne trasse la conseguenza che dipendeva unicamente dalla resistenza dell'aria. Questa verità venne in seguito verificata con esperienze dirette mediante il sussidio della machina pneumatica. Si prende un tubo di vetro, nel quale vien praticato il vuoto colla detta machina, e dall'alto del medesimo si fanno cadere dei corpi di diverse masse, cioè di piombo, rame, ferro, sovero, bambagia, piuma, ecc., i quali vi si tengono sospesi con un ordigno apposito; e si osserva che tutti questi corpi cadono al fondo del tubo nello stesso tempo. Se non si estrae l'aria dal tubo, allora questa è d'ostacolo alla caduta di quei corpi e toglie loro il moto, per cui ne fa variare la caduta. Il *martello filosofico* prova con qual impeto cadrebbe l'acqua della pioggia se non fosse rallentata nel suo moto dalla resistenza dell'aria.

Che la gravità imprima ai corpi l'uguale velocità, qualunque sia la loro massa, si dimostra anche coll'oscillazione dei pendoli, i quali come vedremo, in causa della gravità fanno queste oscillazioni dell'ugual durata quando hanno la stessa lunghezza, qualunque sia la massa del corpo che oscilla.

124. Considerando ogni corpo come il complesso d'un dato numero di molecole elementari eguali, ognuna delle quali ha un'egual tendenza verso la terra o una egual forza di gravità, ne viene che ciascun corpo cadrà bensì con egual velocità in virtù della forza medesima, ma quello composto di un maggior numero di molecole avrà in proporzione anche una maggior quantità di gravità. Dunque *la gravità è in ragion diretta della massa*. Si suole prendere per gravità la velocità ch'essa suol imprimere ad un'unità di massa, sicchè essa allora risulta eguale in tutti i corpi. Ritenendo come unità di gravità la tendenza d'una molecola verso il centro della terra, che chiameremo *gravità semplice*, la somma di tutte queste tendenze forma la *quantità di gravità* o *gravità totale*, che viene detta *peso*, quando si considera il solo sforzo od effetto. Il peso si misura colla bilancia o colla stadera. Esso è invariabile qualunque siano i cambiamenti che si facciano nella figura, nella posizione, nell'estensione e nelle chimiche proprietà del corpo, purchè non si sottragga

da esso, nè gli si aggiunga della materia. Il peso assoluto serve di misura alle masse per essere esso generalmente proporzionale alle medesime. Se mai si trovasse che l'attrazione del nostro globo differisse secondo la diversità delle materie attratte, allora il peso, come effetto di questa attrazione, non riuscirebbe sempre proporzionale alle masse. Si è però veduto che i corpi cadono verso la terra con eguale velocità, qualunque siano le loro masse (§. 123), per cui dobbiamo ritenere che i pesi siano a queste masse proporzionali, dipendendo da esse l'inerzia o l'opposizione al movimento dei corpi, come vedremo più avanti. I pesi, a dir vero, si sono sempre impiegati per la misura delle masse; ma questa pratica altro fondamento non aveva che una supposizione avanti che Galilei avesse dimostrato l'eguaglianza di velocità nella caduta dei corpi.

Un corpo inoltre scema di peso a misura che viene allontanato dalla terra, perchè, come or ora vedremo, la gravità diminuisce colla distanza. Talchè il peso d'un corpo riesce minore alla sommità d'un monte che al piede del medesimo. Vedremo altresì che la gravità è minore all'equatore che ai poli della terra; per cui il peso si accresce andando dall'equatore verso i poli. Il peso è proporzionale alla gravità, che ne è la cagione, e questa forza segue la ragione del numero delle molecole o della massa. Da ciò è venuto quindi che i tre vocaboli *massa*, *gravità* e *peso* si prendono nel comune linguaggio l'uno per l'altro. Rigorosamente parlando però essi dinotano nozioni differenti. Un corpo portato in qualsivoglia luogo ha sempre l'egual massa; ma può variare moltissimo la sua gravità e il suo peso. D'altronde si è veduto che la gravità è la causa, e il peso l'effetto.

125. La tendenza dei corpi a cadere verso la terra non solo si mostra in quei luoghi ed a quelle altezze a noi accessibili, ma eziandio a quelle distanze da essa cui non possiamo pervenire. Le pietre meteoriche o gli areoliti, che cadono dall'alto dell'atmosfera, ne sono una prova; per cui non vi ha alcun dubbio che la gravità sia una forza, che esercita la sua azione a grandi distanze. Si presenta quindi la questione di sapere se l'intensità dell'attrazione terrestre abbia qualche rapporto colla distanza. Si dimostra appunto che *la gravità è in ragione inversa del quadrato della distanza.* Questa verità fondamentale dell'attrazione si deduce dal moto della luna intorno al nostro globo e dalla dottrina delle forze centrali. In generale si osserva che il movimento dei globi celesti e le oscillazioni dei pendoli in diversi luoghi ed a differenti altezze annunciano, con tutta

l'evidenza, che i corpi si attraggono secondo la ragione diretta delle masse e l'inversa del quadrato delle distanze. Noi daremo di questa importante proposizione un saggio di dimostrazione la quale, se non è dotata di tutto il rigore geometrico, è sufficiente però a farla comprendere.

Primieramente bisogna dimostrare che una *molecola d'un corpo vien attratta egualmente da una data quantità di materia, formi questa un inviluppo sferico uniforme, oppure sia tutta riunita nel centro del medesimo.* Questa proposizione si dimostra colla geometria. Per darne una dichiarazione elementare, supponiamo che le particelle vadino tutte a riunirsi nel centro: la forza attrattiva di quelle, che erano più vicine al corpo attratto, diminuirà in virtù dell'aumento della distanza nel tempo stesso che la forza attrattiva delle altre, che ne erano più distanti, aumenterà in causa d'una distanza minore. Siccome poi il numero delle particelle, che si discostano dal corpo attratto, è eguale al numero di quelle che vi si accostano, essendo che l'inviluppo è omogeneo; e siccome per riguardo alla distanza di quanto si discostano le une, di altrettanto si avvicinano le altre; così succede un giusto compenso d'attrazioni, ed il corpo vien attirato egualmente dalla stessa materia, sia disposta in un inviluppo sferico, sia tutta riunita nel centro del medesimo. Potendosi una sfera considerare come una unione d'inviluppi sferici sovrapposti gli uni agli altri, a ciascuno dei quali è applicabile il ragionamento che abbiamo fatto, ne viene che la sfera materiale agisce sopra una molecola situata esteriormente, come se tutta la materia di questa sfera fosse riunita nel centro di essa. Dicesi *centro d'azione* quel punto in cui, supponendo riunite tutte le molecole d'un corpo sferico, la loro attrazione totale rimane ancora la stessa.

Ammesso questo principio, ecco come si dimostra che la *gravità è in ragione inversa del quadrato delle distanze.* Infatti essendo *ahe* (fig. 13) la nostra terra, ed *m*, *n* due corpi, è manifesto, da quanto abbiamo detto, che la forza attrattiva esercitata dalle molecole terrestri sui due corpi *m*, *n* si potrà considerare tutta accumulata nel centro *c*. Ora, diffondendosi l'attrazione di gravità dal centro *c* a guisa di raggi che partono da quel punto, è chiaro che per la superficie *dg* passeranno tutti i raggi che attraversano la superficie *bf*. Per lo che l'intensità dell'attrazione di gravità in ogni punto della superficie più piccola sarà maggiore che in ogni punto dell'altra superficie; anzi se la superficie *dg* fosse doppia della *bf*, il vigore della gravità in ogni punto di quella sarebbe la metà del

vigore della medesima forza in ogni punto della superficie *bf*; cosicchè diremo che l'attrazione di gravità dei due corpi *m*, *n* colla terra è in ragione inversa delle due superficie *bf*, *dg* su cui si trovano. Ma dalla geometria ricaviamo che due segmenti simili *bf*, *dg* di superficie sferiche seguono la ragione dei quadrati dei raggi *cm*, *cn* delle sfere a cui appartengono, i quali esprimono anche le distanze de' corpi *m*, *n* dal centro *c* della terra: perciò le attrazioni di gravità dei due corpi *m*, *n* sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze *cm* e *cn* dal centro *c* della terra. Un corpo adunque posto ad una distanza come 2 dalla terra avrà una gravità che sarà 1|4 di quella d'un altro posto ad una distanza come 1; poichè 1|4 ha il rapporto inverso del quadrato di 2 e di 1.

126. Dunque variando la distanza dei corpi dalla superficie della nostra terra, varia anche la tendenza che hanno di cadere verso la medesima. Cosicchè se un corpo fosse portato ad una distanza dalla terra tale che eguagliasse quella a cui si trova la luna, che è di 60 semidiametri terrestri, la gravità del medesimo diverrebbe 1|3600 di quella che avrebbe alla superficie della terra, perchè il quadrato di 60 è 3600. Per altro, se si considerino quanto siano picciole le altezze a cui noi possiamo elevarci in confronto del raggio della terra, le variazioni che subisce in questo caso la gravità sono così tenui, che possono trascurarsi senza commettere errore sensibile, per cui può essa ritenersi come una forza continuata costante, e come tale si considera nella mecanica dei corpi terrestri. Per vie meglio comprendere che la gravità può considerarsi come una forza continuata costante entro i limiti, cui non ci è dato di oltrepassare, allontanandosi dalla terra, supponiamo che un corpo venga allontanato alla distanza di 6000 metri dalla superficie terrestre, che è un'altezza maggiore di 3 miglia geografiche italiane. Il raggio terrestre potendosi valutare prossimamente di 6400000 metri, la distanza del detto corpo dal centro della terra sarà perciò di 6406000 metri. Dunque la gravità alla superficie terrestre starà alla gravità all' altezza di 6000 metri, come i quadrati dei numeri 6406000 e 6400000; ossia come i numeri 41036836 e 40960000, oppure come 1 sta a 0,9981: cioè la gravità all' altezza di 6000 metri scemerebbe meno di 2 millesimi o di 1|5 di centesimo; scemamento che può trascurarsi senza tema d'errore sensibile.

127. La gravità dei corpi, considerata sotto un determinato volume, prende il nome di *gravità specifica*, perchè essa in tal caso caratterizza il peso relativo del corpo, venendo quindi anche ap-

pellata *peso specifico*. Quando di due corpi l'uno si dice più pesante dell'altro, senza indicare la grandezza dei loro volumi, si sottintende sempre che questi siano eguali. Dicendo che il ferro è più pesante del sovero, s'intende egual volume di ferro e di sovero; altrimenti una data quantità di questo legno può avere maggior peso d'un certo volume di ferro, nello stesso modo che due libbre di sovero sono più pesanti di una libbra di ferro. In questo caso però il volume della prima materia è molto più grande di quello della seconda. Appunto perciò *la gravità* o *il peso dei corpi presi ad egual volume si chiama gravità* o *peso specifico*.

Le gravità specifiche hanno dei rapporti esatti colle masse o pesi assoluti e coi volumi, che veniamo a far conoscere. Siano S, s le gravità specifiche di due corpi, le cui masse sono rispettivamente M, m ed i volumi V, u. Inoltre rappresenti x la gravità specifica d'un terzo corpo, la cui massa è m, e il volume V. Siccome, posti eguali i volumi, le gravità specifiche sono proporzionali alle masse; così si avrà : S : x : : M : m. Inoltre essendo eguali le masse, le gravità specifiche sono in ragion inversa dei volumi, si avrà anche $x : S :: \frac{1}{V} : \frac{1}{u}$. Combinando assieme le due proporzioni col moltiplicare termine per termine risulta $S : s :: \frac{M}{V} : \frac{m}{u}$. Il che significa in generale che *le gravità specifiche sono nella ragion diretta delle masse ed inversa dei volumi*. Essendo poi le masse rappresentate dai pesi assoluti, che diremo P, p, avremo anche $S : s :: \frac{P}{V} : \frac{p}{u}$, cioè *le gravità specifiche sono in ragion composta diretta dei pesi ed inversa dei volumi*. Se fosse $S = s$, allora risulterebbe anche $\frac{P}{V} = \frac{p}{u}$, e quindi $P : p :: V : u$, cioè *essendo eguali le gravità specifiche i pesi stanno come i volumi*.

Per avere da questi rapporti delle gravità specifiche la misura assoluta di quella d'un corpo, è necessario stabilire l'unità di gravità specifica. Vedremo in seguito quali corpi siansi stabiliti per far servire la loro gravità specifica alla misura di quella degli altri corpi. In tal caso facendo la massa $m = 1$, e il volume $u = 1$ del corpo che si prende per unità di gravità specifica, sarà $S = \frac{M}{V}$, oppure $S = \frac{P}{V}$.

128. La terza specie d'attrazione che abbiamo distinta, è la *gravitazione* (§. 71), ossia la forza con cui tendono gli uni verso gli altri,

Digitized by Google

gli astri e tutti quei corpi, che con rivoluzioni più o meno regolari spaziano nel firmamento. La gravità dunque altro non è che un caso particolare della forza, che è propria di tutti i corpi dell'universo, ed è per ciò che alcuni, sotto il nome di gravitazione, comprendono eziandio la gravità. Del resto, abbiamo già dichiarato, che l'attrazione, sia chimica o molecolare, sia fisica o terrestre, sia astronomica o celeste, è un'unica e medesima forza, che differisce soltanto per le quantità di materia fra cui ha luogo, o per le posizioni dove si trovano le masse attraenti o tendenti le une verso le altre. L'attrazione terrestre e la molecolare si esercitano fra masse materiali, che sono accessibili all'uomo in maniera da poterne da vicino esaminare gli effetti ed all'uopo misurarli con esperienze dirette; mentre gli astri si trovano fuori della nostra sfera e non si possono su di essi istituire che delle osservazioni col sussidio di strumenti appositi per valutare i loro movimenti e le leggi della gravitazione.

Siamo indotti a credere che le leggi, seguite dalle prime due specie d'attrazione, siano comuni anche alla terza specie o alla gravitazione, perchè l'analogia in questo caso è un argomento molto concludente (§. 33 III). Tuttavolta si hanno osservazioni, colle quali è dimostrata la gravitazione degli astri, librati nell'immenso spazio dell'universo. La gravitazione infatti è attestata: 1° dal moto dei pianeti intorno al sole, i quali, in virtù dell'attrazione di questo astro centrale, sono obbligati a moversi intorno ad esso per linee curve e deviare così il cammino rettilineo che prenderebbero senza l'azione continuata di quella forza; 2° dalla deviazione di Saturno dal suo cammino, allorquando passa vicino a Giove; 3° dalla perturbazione del moto dei satelliti di Giove prodotta dall'attrazione di Saturno; 4° dal flusso e riflusso del mare cagionato dall'attrazione della luna colle acque terrestri; 5° dall'alterazione del moto della luna intorno alla terra in virtù dell'attrazione del sole e di altri astri; 6° da un'ineguaglianza secolare, detta *precessione degli equinozj*, prodotta dall'attrazione del sole sulla terra; lo stesso si dica della *nutazione dell' asse terrestre*, e di molti altri fatti somiglianti, verificati in tante maniere durante il corso di parecchi secoli con osservazioni assidue ed esatte.

129. La *gravitazione segue pure*, come la gravità, *la ragione diretta delle masse e l'inversa dei quadrati delle distanze*. Queste leggi si dimostrano analizzando il moto dei pianeti e principalmente quello della terra intorno al sole, e della luna intorno alla terra. D'altronde una volta che sia ammessa questa forza, si ricavano colla dottrina

Digitized by Google

delle forze centrali le leggi annunziate all' appoggio di alcuni fatti o altre leggi rinvenute sul movimento dei pianeti. Anzi queste ultime leggi di fatto, rinvenute da Keplero all'appoggio di osservazioni assidue istituite da parecchi astronomi in diversi secoli, sono l'espressione della legge generale della gravitazione, per la quale si congiungono con un comune vincolo, e riescono esse il risultamento della forza universale che sollecita tanto le grandi masse quanto le molecole di cui i corpi sono formati.

I fatti o le leggi di Keplero, che riescono altrettante conseguenze della legge generale della gravitazione, sono: 1° *i pianeti ed i satelliti percorrono delle orbite elittiche, nel fuoco delle quali è collocato il sole* o *l'astro primario*; 2° *gli archi ch'essi descrivono per le loro orbite sono tali che le aree seguono la ragione dei tempi*, 3° *i tempi di rivoluzione sono in rapporto costante tale, che i quadrati dei tempi periodici di rivoluzione stanno come i cubi dei grandi assi delle orbite.* Con queste leggi, dipendenti dalla legge primordiale della diretta delle masse e dell'inversa dei quadrati delle distanze, si estesero i confini dell'astronomia, e non si attesero più le osservazioni per determinare certe variazioni, certe ineguaglianze nei movimenti dei corpi celesti; mentre i calcoli, fondati sulla legge dell' attrazione, le indicano abbastanza e l'osservazione non fa che confermarle. Per tal modo nell'andamento dei pianeti si predicono le *congiunzioni*, gli *eclissi*, il *loro ritorno sull'orizzonte*, e se ne stabiliscono le *stazioni*, le *retrocessioni* con grande esattezza.

130. Le comete sono pure sollecitate nei loro movimenti dalla gravitazione, percorrendo in virtù di questa forza dei cammini curvilinei e seguendone le leggi. Vi sono altresì alcuni astri che hanno movimenti così lenti, di cui non si accorsero i filosofi dell'antichità, e quindi vennero chiamati *stelle fisse*. Si ha qualche argomento per credere che le stelle, splendenti pure di luce propria come il sole, abbiano intorno a sè un certo numero di corpi opachi, i quali siano subordinati alla legge della gravitazione, e si movano in orbite curvilinee, come la terra e gli altri pianeti intorno al sole. Esse sarebbero il centro di altrettanti altri sistemi planetari somiglianti a quello solare.

Una potenza universale dunque, di cui il Creatore ha dotato la materia, conserva l'armonia fra gli astri; fissa le loro rispettive posizioni nello spazio del firmamento; regola i loro moti e le loro rivoluzioni, traendoli per orbite elittiche; determina i loro rapporti reciproci; prescrive ad essi la parte, che devono sostenere nella grande machina mondiale, e sembra che per volontà del *Sommo*

Digitized by Google

Facitore abbia presieduto alla formazione dell'universo. L'azione d'una tale forza domina su tutte le molecole materiali, le riunisce in masse più o meno grandi, e ritiene i corpi del nostro globo in modo che da esso non si stacchino. Talchè per questo comune vincolo vengono congiunti in un tutto immenso gli atomi, i corpi e gli astri per formare ciò che si è chiamato *universo sensibile o materiale*.

SEZIONE II.

Delle proprietà statiche secondarie.

131. Si è già veduto quali siano le *proprietà statiche secondarie*, che devono dare argomento a questa sezione (§. 37). Esse si riducono alle cinque seguenti: la *condensabilità*, la *rarefattibilità*, la *divisibilità*, la *comprensibilità*, e l'*elasticità*, e dalle prime due di esse nasce l'idea della *densità*. Queste proprietà, quantunque generali, non si mostrano da sè nella materia in cui si ricercano; ma per indagarle è d'uopo esercitare sui corpi un'azione mediante forze, strumenti ed altri mezzi consimili.

132. Essendo il calorico la causa della porosità dei corpi (§ 58), ne risulta che, sottraendolo da questi, le loro molecole, ubbedendo alla coesione, si riavvicineranno maggiormente, ed il corpo diverrà più denso, ossia la sua massa si restringerà sotto un minor volume. Questa attitudine, che hanno i corpi di restringersi colla stessa massa sotto minor volume, in causa della sottrazione del calorico, appellasi *condensabilità*.

133. Le molecole di un corpo, posto all'azione del fuoco, divengono più rare (§. 8) facendosi più grandi i pori. Questa attitudine, che hanno i corpi d'andar soggetti a tale variazione del loro volume mediante il calorico, chiamasi *rarefattibilità*, e per essa si produce la *dilatazione*.

134. Di queste due proprietà, la *condensabilità* e la *rarefattibilità*, si vedranno delle prove allorquando nella fisica particolare parleremo del calorico. Intanto faremo notare che da esse dipende la costruzione del *termometro*, o di quello strumento che serve a misurare il calore o la temperatura dei corpi. La materia, che d'ordinario colle sue dilatazioni e co' suoi condensamenti serve alla misura del calore, è il mercurio posto in un tubo di vetro fornito d'una palla cava, che dicesi *bulbo*. Venendo questo liquido sottoposto all'azione del calorico, si dilata, e le sue dilatazioni si

manifestano lungo il tubo; perdendo esso del calorico si restringe, e le diminuzioni di volume si mostrano pure lungo il tubo. I gradi, segnati sopra una scala annessa al tubo medesimo, sono determinati da due punti fissi, la temperatura del ghiaccio deliquescente e quella dell'acqua bollente, dividendosi l'intervallo compreso fra questi due punti in 80 o in 100 parti eguali, secondo che il termometro è a scala ottagesimale o centesimale; le quali parti costituiscono i gradi che si estendono anche oltre quei punti. Nel trattato del calorico daremo delle cognizioni più estese di questo strumento, del quale si è qui indicata la costruzione, perchè dovremo quanto prima farne uso nello studiare i fenomeni fisici. Noteremo soltanto che, unitamente al mercurio, si dilata o si condensa il vetro del tubo dove il liquido è contenuto; ma le variazioni di volume del mercurio stesso riescono maggiori di quelle di capacità del tubo, e per ciò si manifestano in esso.

135. Dalle due proprietà precedenti dipende la nozione della *densità*. Per valutare lo spazio occupato dai pori in un corpo, ossia per conoscere la maggiore o minore densità di lui, sarebbe mestieri avere una materia perfettamente densa, cioè senza pori. In tal modo si determinerebbe il rapporto fra la quantità di materia propria, e la somma dei pori d'ogni altro corpo. Ora noi possiamo spiegare meglio (§. 40), che cosa si deve propriamente intendere per massa. *Essa è eguale al volume meno lo spazio occupato dai pori*, e si misura col peso (§. 124). È chiaro pertanto che se due corpi hanno egual volume, ma uno abbia la massa di 6 chilogrammi, mentre l'altro l'ha di 3, il primo avrà metà pori del secondo corpo, cioè quello avrà una densità doppia di questo. Perciò *posti eguali i volumi, le densità di due corpi sono in ragion diretta delle loro masse*. Prendasi ora a considerare due corpi che abbiano le masse eguali, ma il volume dell'uno doppio del volume dell'altro. Egli è evidente in questo caso che il corpo dotato di minor volume ha minor numero di pori, vale a dire è più denso; anzi avendo la metà del volume dell'altro, avrà eziandio la sua densità doppia della densità di questo: per lo che *poste eguali le masse, le densità di due corpi seguono la ragione inversa dei volumi*. Chiamando quindi D,*d* le densità di due corpi, ed M,*m*; V,*u* le rispettive masse ed i rispettivi volumi, ed istituendo un calcolo come si è fatto delle gravità specifiche, si avrà la proporzione $D : d :: \frac{M}{V} : \frac{m}{u}$, cioè *le densità di due corpi stanno in ragion composta diretta delle masse*

ed inversa dei volumi. Dall' ultima proporzione si ottiene $D=d.\frac{u}{V}.\frac{M}{m}$; talchè se è 1 la densità d, 1 la massa m e 1 il volume u del corpo, al quale si vogliono paragonare le densità d'altro corpo qualunque che avesse per es. una massa M di chilog. 1,62 ed il volume V di metri cubici 0,324: si avrà prima $D=\frac{M}{V}$, e quindi $D=\frac{1,62}{0,324}=5$. Con un procedimento simile a questo si potrà determinare in ogni caso la densità di qualunque corpo di cui si conoscono e la massa ed il volume, di maniera che si può stabilire in generale che *la densità d'un corpo è espressa dal quoziente che risulta dividendo la massa pel volume*. Si noti però che s'intende il numero delle unità astratte della massa diviso pel numero delle unità astratte del volume. Dunque, se due corpi avessero eguali densità, ne verrebbe $\frac{M}{V}=\frac{m}{u}$, cioè che il quoto risultante dal dividere la massa di uno pel suo volume dovrebbe essere eguale al quoto che si ottiene dividendo la massa pel volume dell' altro corpo; e che perciò *poste eguali le densità di due corpi, le loro masse sono in ragione diretta dei volumi*, cioè che nei corpi di densità eguali si desume il rapporto delle loro masse da quello dei loro volumi, e viceversa.

136. La nozione della densità ha un' intima relazione colla gravità o peso specifico precedentemente considerato (§. 127), anzi si dimostra che *le gravità specifiche di due corpi sono in ragione delle loro densità*. Imperocchè un corpo che abbia una densità doppia o tripla d'un altro, avrà sotto egual volume una doppia o tripla massa e quindi sarà dotato d' una doppia o tripla gravità specifica. D' altronde si è già trovato, che tanto le gravità specifiche (§. 127) quanto le densità (§. 135), stanno nell' egual rapporto di $\frac{M}{V}:\frac{m}{u}$; perciò bisogna che le prime siano proporzionali alle seconde.

137. La determinazione della gravità specifica dei corpi ci farà conoscere anche la loro densità, perchè si ritiene che l'una sia all'altra proporzionale. L'unità di misura per le densità e le gravità specifiche dei solidi e dei liquidi è l'acqua pura, e dei fluidi elastici l'aria comune asciutta; e ciò allo scopo di evitare per questi ultimi corpi dei numeri troppo complicati paragonandoli con l' acqua. Tuttavolta si possono sempre i numeri esprimenti le gravità specifiche dei fluidi aeriformi riferire alla densità dell'acqua, sapendosi che questa è 770 volte più densa dell'aria.

Il platino, che è circa 21 volte più pesante d'un egual volume d'acqua, risulterebbe non solo il corpo di maggior gravità specifica, ma anche di maggior densità; mentre il corpo meno denso, che si conosce fra le materie ponderabili, sarebbe il gas idrogeno; il quale ha una gravità specifica di 1,14 circa quella dell'aria. Con tali rapporti si trova appunto che il gas idrogeno ha una densità, la quale sarebbe $\frac{1}{10780}$ di quella dell'acqua, ossia di $\frac{1}{226380}$ della densità del platino. Perlocchè le densità dei corpi ponderabili, prendendo per unità quella dell'idrogeno, si trovano tutte comprese fra i limiti di 1 a 226380. Osserveremo però intorno a questi confronti che all'iridio ed all'osmio, metalli che accompagnano le miniere di platino unitamente al paladio ed al rodio, Breithaupt assegnerebbe una densità superiore al platino, e principalmente all'iridio cui attribuisce la densità di 23,646 quella dell'acqua, ritenendo inoltre che l'osmio sembra doverne poco differire secondo la densità determinata da Rose nelle diverse varietà di osmiuro d'Iridio (1).

138. Siccome la densità (§. 135) o la gravità specifica (§. 127) è in ragion diretta del peso ed inversa del volume; così in due modi si potrà trovare la gravità specifica d'un corpo: 1° *pesandolo sotto un volume costante e stabilito*; 2° *dividendo il suo peso pel volume rispettivo*. L'unità poi di misura, cui si paragonano le gravità specifiche dei solidi e dei liquidi, è l'acqua pura; e quella cui si paragonano le gravità specifiche dei corpi aeriformi è l'aria atmosferica secca; perciò la gravità specifica d'un solido o d'un liquido qualunque si troverà: 1° *pesando il corpo preso ad un volume sotto il quale il peso dell'acqua si è fatto eguale ad uno*; 2° *dividendo il peso di lui espresso in unità del peso dell'acqua pel volume di lui espresso in unità del volume della medesima*; e la gravità specifica d'un fluido aeriforme si rinverrà: 1° *pesando il corpo preso ad un volume costante e stabilito sotto al quale l'aria atmosferica pesa uno*; 2° *dividendo il peso di lui espresso in unità del peso dell'aria pel volume di lui espresso in unità del volume della medesima*. Avvertasi che i corpi dei quali cercansi le gravità specifiche devono prendersi ad una temperatura costante e stabilita, e gli aeriformi, siccome compressibili, anche alla medesima pressione. Comunemente per rispetto alla temperatura si prende la media del clima del luogo dove si fanno le

(1) *Annalen der Physik und Chemik*, di Poggendorff. — Fascicolo 11 del 1833, e fascicolo 2 del 1835.

sperienze o quella del ghiaccio deliquescente; e per riguardo alla pressione millim. 760 di mercurio (1). Quando le sperienze non si fanno sotto una temperatura costante, e pei fluidi aeriformi anche sotto una medesima pressione, bisogna saper condurre i risultamenti, trovati a temperature e pressioni differenti, alla temperatura e pressione costante stabilita (2). Insegneremo a trovare la gravità specifica dei solidi, e dei fluidi liquidi ed aeriformi nella parte II, dove si tratta particolarmente di queste materie.

139. La questione se la materia empisca interamente lo spazio, oppure sino a qual punto essa possa essere ristretta sotto minor volume conservando la medesima massa, è stata agitata per molto tempo nelle scuole, ed ora forse non è ancor ovunque spenta. Egli è perciò che la moderna fisica si limita ad ammettere che in natura si diano tre specie di *vacuo* o *vuoto*, a norma di quanto ci viene attestato dalle più ovvie osservazioni e considerazioni.

I. Il vuoto ove non vi hanno materie solide e liquide, ma che contiene qualche fluido aeriforme.

II. Il vuoto privo d'ogni materia pesante anche aeriforme, ma occupato da qualche fluido imponderabile.

III. Il vuoto assoluto, cioè privo di sostanze di qualunque natura.

La prima specie si ravvisa anche ad occhio nudo, e quando si fa uso di microscopio si riscontra in maggior quantità di luoghi. Esso comprende tutti i pori che si scoprono nell'osservare e nello sperimentare sulla materia, tutti gl'intervalli compresi fra i corpi terrestri confusi assieme o sovrapposti e lo spazio atmosferico. Ad esso si riferiscono inoltre quei vacui che nel comune linguaggio distinguonsi coi nomi di *spazio cavo* o *concavo*, *cavità* e *concavità*.

Appartiene alla seconda specie, o per parlare a rigore, si avvicina ad esso il *vuoto pneumatico*, ossia quello che vien fatto colle migliori machine pneumatiche, il quale sarebbe perfetto se non vi rimanesse sempre qualche piccolissimo residuo d'aria o di vapore acqueo. Impareremo meglio a conoscere questo vuoto quando nella seconda parte si tratterà dei fluidi elastici. Il *vuoto barometrico* o

(1) Cioè una colonna di mercurio dell'altezza di 760 millimetri, che è contenuta in un tubo di vetro, e forma la parte essenziale d'uno strumento detto *barometro*, il quale impareremo a conoscere in seguito, e di cui si ha un'idea nel seguente paragrafo coll'esperienza di Torricelli.

(2) Nella parte II si vedrà in qual modo tutti i risultamenti si riducono a temperature e pressioni eguali.

torricelliano, si accosta ancor più del pneumatico a questa seconda specie. Esso si ottiene, come ha fatto pel primo Torricelli, in un tubo di cristallo della lunghezza almeno d'un metro e chiuso ermeticamente ad una sua estremità. Si empisce il tubo di mercurio ben purgato ed asciutto, con cui si espelle l'aria che naturalmente vi si conteneva. Turando poscia con un dito quel tubo esattamente pieno di mercurio e capovolgendolo, s'immerge per la sua estremità in altro mercurio contenuto in una vaschetta. Dopo aver levato il dito, il liquido discende e si mette nel tubo ad una determinata altezza, la quale, nei luoghi poco elevati sul livello del mare, è d'ordinario di 760 millimetri, e lascia quindi superiormente uno spazio vuoto d'ogni materia ponderabile. Nel trattare dei fluidi aeriformi mostreremo che l'elevazione del mercurio nel tubo dipende dalla pressione dell'atmosfera. Intanto giova l'osservare che il vuoto torricelliano sarebbe a tutto rigore della seconda specie, se alcuni fisici non avessero promosso il dubbio che in esso si contenesse una tenuissima quantità di vapore di mercurio. Si ritiene altresì che nel firmamento, al di sopra della nostra atmosfera, vi abbia questa seconda specie di vuoto, dall'osservare che gli astri nei loro movimenti non provano verun ritardo.

Per rispetto alla terza specie o al *vuoto assoluto*, non abbiamo nè ragioni concludenti, nè osservazioni, nè sperienze per dimostrare la sua reale esistenza. Poichè il fluido luminoso diffondendosi dal sole e da tutte le stelle fisse per tutti gli spazii dell'universo, pare che debba impedire l'esistenza di questa specie di vuoto.

140. Un corpo dicesi divisibile allorquando può essere sottoposto all'operazione della divisione, oppure quando le molecole di cui esso è formato possono essere separate le une dalle altre. L'attitudine poi che hanno i corpi di prestarsi a questa operazione, chiamasi *divisibilità*. Siccome tutti i corpi a noi conosciuti si sottopongono alla divisione e sono composti di parti separabili le une dalle altre mediante qualche strumento od agente; così la divisibilità è una proprietà generale (§. 33, III). D'altronde noi vediamo continuamente che i corpi più resistenti si dividono: infatti le verghe metalliche si rompono e si separano in parti mediante certi strumenti; le pietre si spezzano sotto i colpi di martello; il diamante, quantunque il più duro e il meno alterabile fra i corpi comunemente conosciuti, si riduce del pari in tenuissimi minuzzoli, i quali servono a levigare la stessa sua superficie. E sotto l'azione del calorico e dell'elettrico tutti i corpi si separano nelle loro molecole; e se sono solidi si liquo-

Digitized by Google

fanno, e se liquidi si evaporizzano. Noi però dobbiamo esaminare una tale proprietà sotto il punto di vista scientifico; giacchè con essa si viene in cognizione della struttura e dell'indole dei corpi e ci guida a meglio comprendere certe azioni, che concorrono nella produzione dei fenomeni.

141. Un corpo si divide nelle sue molecole vincendo l'attrazione che le teneva unite: e questo si ottiene col tagliare, col pestare, col limare, col macinare e con altre simili operazioni (§. 13). La divisione, oltre essere praticata con questi mezzi meccanici, si effettua con mezzi chimici mediante l'affinità di composizione (§. 15); ed anche col calorico e coll'elettrico.

142. Nella nostra imaginazione la divisibilità dei corpi non ha limiti; giacchè noi potremmo prendere colla mente la metà d'una parte già molto piccola di materia, e quindi la metà della metà o 1/4, e poscia la metà di 1/4 ossia 1/8, ed indi la metà di 1/8 ossia 1/16, e così 1/32, 1/64 sino all'infinito. Dunque mentalmente la materia è divisibile all'infinito.

La divisibilità reale e fisica in vece è limitata: imperocchè gli strumenti più fini, coi quali vien praticata la divisione, più non arrivano col seguito ad agire sulle molecole d'un corpo già rese molto tenui; e ciò a motivo che o il filo del coltello è più grosso della molecola che si vuol tagliare, o il pestello, per le sue scabrosità, non può percuotere le molecole materiali già esilissime, ecc. E d'altronde quando la divisione si operi per via dell'affinità, questa giunge ad un punto da non poter più far sentire la sua azione. Per quanto però la divisibilità sia limitata, la natura e l'arte ci somministrano degli esempi sorprendenti della tenuità di parti, cui può essere ridotta la materia, i quali or ora riporteremo. Intanto basta l'osservare che il grano di frumento, ridotto in minutissime particelle o in farina mediante la macina, è suddiviso in parti ancor più esili infondendolo, così ridotto, in una massa d'acqua, dove si scioglie e forma con essa un sol liquido.

143. Nelle scienze fisiche e nelle matematiche applicate, si fa uso sovente di alcuni congegni ed attrezzi, che si adattano agli apparati della scienza per prendere una data minima parte d'un'unità continua, senza praticare la reale divisione. Di tale specie sono la *vite micrometrica*, il *nonio* e la *scala ticonica*. Mentre con questi tre congegni si ottengono le parti piccolissime d'uno spazio lineare senza praticare la divisione, ve ne ha un altro, detto *coltello microtomo* che serve a tagliare effettivamente certi corpi in pezzetti minutissimi ed

Digitized by Google

in falde sottilissime; ed a provare quindi col fatto la grande divisibilità della materia.

La *vite micrometrica* si applica agli strumenti fisici e geodetici per dividere un dato intervallo rettilineo o curvilineo in parti eguali o in dato rapporto: essa è inoltre nelle arti mecaniche il fondamento di quasi tutte le machine di divisione. Per ben comprendere la costruzione di questo utile congegno, imaginiamo d'avere una vite il cui passo sia della grandezza d'un millimetro ed abbia applicato al centro del suo asse un indice, il quale nel far girare il mastio scorra sopra un cerchio graduato. Ad ogni grado o divisione che l'indice percorrerà sul cerchio, l'estremità del mastio si avanzerà d'un'egual frazione dell'intervallo compreso dal passo della vite, il quale nel nostro caso è d'un millimetro. Talchè se la periferia di quel cerchio è diviso in cento gradi o parti, ogni grado dell'indice corrisponderà ad un avanzamento nel mastio della centesima parte d'un millimetro. Supponiamo ora la vite micrometrica applicata ad un regolo o ad una verga rettilinea destinata per le misurazioni e per conseguenza fornita di divisioni segnate su di essa in decimetri, centimetri e millimetri; e si presenti il caso che la lunghezza da misurarsi sia di parecchie unità più una frazione di millimetro. Per conoscere anche questa frazione, che non si può avere dalle divisioni segnate sul regolo, si fa corrispondere l'estremità del mastio colla divisione prossima e si fa girare l'indice sul cerchio graduato di tanto che il mastio coincida con questa seconda estremità della lunghezza da misurarsi. Egli è chiaro che il numero dei gradi segnati dall'indice darà la frazione di millimetro da aggiungersi alle unità comprese dallo spazio, che si voleva misurare.

Vediamo ora come lo stesso ordigno serva anche per ottenere frazioni piccolissime di spazii curvilinei. Sul contorno d'un disco di metallo, detto piattaforma, è praticata una scanalatura intagliata a foggia dei denti d'una ruota, e sul piano della piattaforma è assicurato concentralmente il cerchio da dividersi in parti. Il pane della vite s'insinua fra quei denti; talchè ad ogni giro dell'ordigno micrometrico la piattaforma descrive un arco di rivoluzione eguale al passo della vite. Si comprende facilmente che, per fare compiere un'intera rivoluzione alla piattaforma, la vite deve fare tanti giri quanti sono i denti intagliati nella scanalatura. Il disco quindi, che si rivolge colla piattaforma, si potrà facilmente dividere in un numero di parti eguale a quello dei denti, ed anche in piccole frazioni di ciascuna di queste parti mediante gli archi descritti dall'indice della vite micrometrica.

Digitized by Google

144. Il *nonio* è un congegno così chiamato dal nome di Nonius, che ne fu l'inventore. Esso consiste in una laminetta rettilinea o curvilinea, la cui lunghezza comprende un certo numero delle unità di misura, della quale si vogliono prendere le parti minori senza effettuare sulla medesima la divisione. La laminetta è divisa, per la sua intera lunghezza, in un numero di parti eguali maggiore o minore d' un' unità di quelle da essa comprese; ed è scorrevole parallelamente all' altra lamina, su cui sono segnate le unità stesse, di una delle quali si vuol conoscere le divisioni minori. Sia AB una linea, di cui si cerca la lunghezza espressa nelle unità della misura *ab* e nelle frazioni decimali di una delle medesime (fig. 14). La detta linea AB, da A sino in C, risulti, per esempio, di 3 unità e da C in B di altre 11 delle medesime, più una frazione sporgente che si valuta col nonio *mn* senza avere praticata la suddivisione delle frazioni sulla misura *ab*. Il nonio comprende 11 di queste unità ed è diviso in 10 parti eguali; talchè ciascuna di queste supera di 1/10 una delle medesime unità. Facendo scorrere il nonio in maniera che la sua estremità collimi con quella della lunghezza da misurarsi, se la sua divisione 1 corrisponda colla divisione pure 1 della misura, l'estremità *n* del nonio stesso sporgerà da *b* di 1/10 d'unità; se la corrispondenza cadrà sulle divisioni 2, la parte sporgente del nonio risulterà di 2/10, se sulle divisioni 3 di 3/10, se 5 di 5/10, come è il nostro caso. Dunque la linea AB avrà la lunghezza di 3+11=14 di quelle unità più 0,5 di una delle medesime.

Quando la laminetta del nonio comprende soltanto 9 unità, allora per avere i decimi di una di queste bisogna dividere l' intervallo stesso in 9+1 parti, ossia ancora in 10. Sia EF la misura sulla quale vi sono segnate 9 unità, *pq* la laminetta del nonio divisa in 10 parti eguali (fig. 15); nel fare scorrere il nonio lungo la misura, se vengano a corrispondere le divisioni 1, l'estremità *q* del congegno sporgerà da F di 1/10 di unità; che se si coincidano le divisioni 2, la parte sporgente risulterà di 2/10, e così per le divisioni 3 di 3/10, per le 4 di 4/10, e lo stesso delle altre. Il nonio è d'ordinario applicato alle scale degli strumenti di fisica e vi sta annesso stabilmente mediante apposite scanalature, nelle quali può facilmente trascorrere; e si hanno con esso, nel modo indicato, le frazioni piccolissime delle unità della scala stessa senza praticare la divisione. Egli è facile intendere come il congegno del nonio possa essere applicato a lunghezze curvilinee. In tal caso la laminetta del nonio ha pure la medesima curvatura e può scorrere sulla periferia della lunghezza curvilinea nella stessa guisa che trascorre sul lato della rettilinea.

Digitized by Google

Per meglio comprendere il principio, su cui è fondata la costruzione del nonio, sia a un intervallo diviso in n unità di misura, equivalendo quindi ciascuna di esse ad $\frac{a}{n}$. La laminetta del nonio, che comprende n di quelle unità, si divida in $n+1$ o in $n-1$ parti eguali. Nel primo caso la differenza, che passa fra una di queste parti ed un'unità della scala, sarà espressa da $\frac{a}{n} - \frac{a}{n+1} = \frac{1}{n+1} \cdot \frac{a}{n}$. Se quindi l'unità $\frac{a}{n}$ eguaglia un millimetro, e il nonio comprenda un numero d'unità $n=9$, sarà la differenza mentovata eguale ad $1/10 . \frac{a}{n}$, ossia ad $1/10$ di millimetro. Nell'altro caso la differenza, fra una parte del nonio ed un'unità della scala, sarà espressa da $\frac{a}{n-1} - \frac{a}{n} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{a}{n}$. Talchè se $\frac{a}{n}$ è un millimetro, bisognerà dare al nonio la lunghezzza di 11 millimetri, che si dividerà in $n-1$ ossia in 10 parti eguali per avere i decimi di millimetro: poichè, essendo $n=11$, sarà la notata differenza eguale a $1/10 . \frac{a}{n}$, ossia $1/10$ di millimetro.

145. La *scala ticonica* detta anche *trasversale* è un altro congegno, col quale si possono avere le frazioni d'un'unità senza praticare la divisione. Essa è molto in uso presso gl'ingegneri, i misuratori ed i disegnatori quando vogliono riportare sulla carta una figura o un disegno di conosciute dimensioni ridotto in proporzione in ogni sua parte. A tal fine si fanno incidere, su lamine d'ottone, d'avorio e simili materie, le unità di misura le cui frazioni sono date dalla scala ticonica senza che siano incise sulla lamina. Essa è fondata sopra la proprietà dei triangoli simili, che hanno i lati omologhi proporzionali. Per avere un'idea della costruzione di questo congegno abbiasi la linea AB divisa in unità, di cui una è A9 (fig. 16) e vogliasi averne i decimi senza praticare la divisione. A tal fine s'innalzi all'estremità A la retta AE perpendicolare ad AB lunga quanto si crede per dividerla facilmente in 10 parti eguali segnate I, II, III, IV ecc. Si conducano da questi punti di divisione altrettante parallele ad AB e dall'estremità 9 una parallela alla perpendicolare AE, e infine da A la diagonale del rettangolo che ne risulta. Egli è chiaro che sulla prima

parallela I la diagonale ne taglierà una porzione eguale ad 1/10 dell' unità A9 da dividersi, sulla seconda II ne taglierà 2/10, sulla III ne taglierà 3/10, e così di seguito sino alla IX, sulla quale ne taglierà 9/10.

146. Il *coltello microtomo* è uno strumento atto a dividere i virgulti ed i piccoli ramoscelli, di qualche pianta o vegetale, in falde di sottigliezza tale che riescono trasparenti e possono così essere facilmente osservate col microscopio, onde esaminarne la struttura. La costruzione di questo ordigno è fondata sul principio che, per avere un taglio regolare e netto, bisogna non solo premere il filo della lamina tagliente contro l'oggetto da essere diviso, ma ben anche farlo scorrere sul medesimo al modo della sega. La grandezza delle parti tagliate si ha con una vite micrometrica (§. 143) applicata allo strumento.

Esso consiste in una grossa lamina ovale A di ottone o d'avorio colla superficie superiore levigatissima (fig. 17). La lamina ha il suo maggiore asse della lunghezza di circa un decimetro ed è munita d'un manico M. All' estremità opposta dell' asse maggiore vi è praticata una cavità o foro circolare o triangolare, dove s'introduce il virgulto o lo stelo vegetabile da essere tagliato in falde. A questo foro è applicato pel disotto un morsetto, entro cui si può stringere il virgulto mediante la vite B. L'oggetto da tagliarsi riposa sulla testa del mastio di vite C, che si deve intendere situato al disotto della lamina A, normalmente alla sua superficie. Questo mastio è una vera vite micrometrica, munito d'un indice scorrevole sopra un cerchio fisso graduato D (1), con cui si possono misurare le piccole frazioni dell'intervallo, che separa ogni giro della spira della vite (§. 143). Se il detto intervallo o passo della vite è, per esempio, d'un millimetro e il cerchio sia diviso nella sua periferia in 100 parti eguali, è chiaro che si potranno avere i centesimi di millimetro.

Supponendo quindi che si giri la vite di un grado, il virgulto s'innalzerà sul piano della lamina A di $\frac{1}{100}$ di millimetro, spinto dal mastio della vite medesima, sulla cui testa esso si appoggia. Una lama di finissimo acciaio EF della figura d'un semielisse è mobile intorno ad un robusto perno P assicurato sulla lamina A. Il centro di movimento della lamina elittica EF corrisponde al centro o al fuoco

(1) Invece d'essere mobile l'indice congiunto colla vite, può essere tenuto fisso e rendere mobile il cerchio graduato, che allora vien connesso collo stesso mastio, e si muove assieme ad esso.

dell' elisse ; talchè nella rotazione la lama stessa si presenta al virgulto collocato nel foro *f* con un raggio P*f* sempre più crescente. La lama è affilata dal lato F posto verso il foro *f* ed è fornita di denti dal lato opposto E. I denti della lama imboccano con quelli d' un rocchetto N, nel rivolgere il quale si fa ruotare la lama EF attorno al perno P ed avanzare da E verso F. In tal modo gl'intervalli del perno P al foro *f* diventano nella lama sempre più grandi, e questa preme e s'interna nel virgulto assicurato nel medesimo foro *f*, trascorrendo anche su di esso. Il taglio del virgulto si ottiene ben netto mediante quei due moti, di pressione contro il virgulto e di trascorrimento sul medesimo. Vi ha inoltre una specie di traversa o staffa G, per la quale la parte tagliente della lama EF viene tenuta aderente al piano A del coltello.

Per far uso di questo strumento, s'introduce nel foro *f* il virgulto, da cui si vogliono tagliare falde sottilissime, e per la sua estremità inferiore, previamente appianata, s fa appoggiare sulla testa della vite micrometrica C ; poscia si assicura in tale posizione, stringendolo leggermente nel morsetto col far girare la vite B. Infine si rivolge il rocchetto N per tagliare colla lama affilata d'acciaio tutta la porzione del virgulto sporgente sul piano A e metterlo così colla sezione allo stesso livello.

Ciò fatto, supponiamo che si voglia tagliare dallo stelo vegetabile una falda della grossezza di 1/25 di millimetro: ritenendo che il passo della vite micrometrica abbia la dimensione su indicata e che il cerchio sia diviso in 100 gradi, si rallenterà la vite B e si farà girare l'altra C di 4 gradi, con cui il mastio spingerà all'infuori del piano A il virgulto di $\frac{4}{100}$ o di 1/25 di millimetro. Egli è chiaro che, facendo ruotare il rocchetto N, la lama d'acciaio taglierà la porzione sporgente del virgulto e nel nostro caso una falda della grossezza di 1/25 di millimetro. Affinchè nel girare la vite C non giri il virgulto, che è saldamente appoggiato sulla sua testa, importa di notare che da questa parte la vite termina in un dischetto mobile attorno ad un piccolo perno assicurato sulla stessa estremità della vite. Questo ordigno è necessario per non imprimere al virgulto altro moto differente da quello di elevarlo sul piano di A e non toglierlo così dalla sua giusta posizione. Si dovrà pure allo stesso scopo usare una certa diligenza nel rallentare la vite B e nello stringerla di nuovo.

Con un coltello microtomo di costruzione comune si può tagliare

in 100 parti un pezzetto di legno di 3 millimetri di lunghezza e quindi ottenere delle falde di legno di 1/33 di millimetro di grossezza. Mediante strumenti di questa specie lavorati con gran precisione si possono tagliare, da certe parti legnose di vegetali, delle falde ancor più sottili, usando tutte le diligenze indicate. Si è appunto col coltello microtomo che si giunge a riconoscere più evidentemente la gran porosità delle sostanze vegetali, tagliando laminette sottilissime nelle quali si riscontra la porosità anche ad occhio nudo (§. 59).

147. Dopo aver esposte le ragioni per cui la divisibilità si deve ritenere una proprietà generale (§. 140); dopo aver mostrato che essa ha un limite al di là del quale non si può più praticare la divisione (§. 142), e dopo aver fatto conoscere i precedenti ordigni e strumenti che dipendono dalla divisibilità e si usano nelle scienze fisiche e nelle matematiche applicate; vediamo sino a qual punto l'arte, la scienza e la natura stessa abbiano spinto la divisione della materia e l'abbiano ridotta ad una tenuità tale di parti da sorprendere ben anche la nostra imaginazione. Incominciamo dalle arti meccaniche.

Il battiloro e il filaloro ci danno degli esempi d'una sorprendente divisibilità della materia. Il peso di circa un mezzo grano metrico o di chilog. 0,00006 d'oro ridotto in foglie può coprire una superficie di 50 piccoli quadrati, ciascuno dei quali ha 30 millimetri di lato. Ora il millimetro si è diviso in 8 parti, ciò che dà 57600 parti in ciascun quadratello di 30 millimetri di lato. E siccome il numero dei medesimi è 50; così ne risulta che circa un mezzo grano d'oro può essere diviso in 2880000 parti, cioè in quasi tre milioni di particelle. Se poi si volesse far uso del microscopio, ciascuna particella diventerebbe una foglia d'oro, ove l'occhio ed il calcolo troverebbero di che esercitarsi.

Nell'arte del filaloro con una certa quantità di foglie d'oro del peso di 3 grani metrici o di chilog. 0,0003 si copre un cilindro d'argento d'una data massa. Fatto poscia questo passare per differenti trafile, i cui pertugi vanno sempre decrescendo, si riduce ad un filo della grossezza di un capello assai fino e ricoperto in ogni suo punto d'uno strato d'oro estremamente sottile. Il filo è sottoposto talvolta al laminatoio onde renderlo piatto (nella quale operazione si allunga ancora di 1/7), e risulta una bandella della lunghezza di circa 444000 metri, che corrispondono a 247 miglia geografiche italiane. Siccome abbiamo detto che un millimetro può dividersi in 8 parti, e siccome

444000 metri equivalgono a 444000000 di millimetri; così ne risulta che la piccola massa d'oro di chilog. 0,0003 resterà divisa in 3552 milioni, cioè in più di tremila e cinquecento milioni di particelle.

Lo strato d'oro, disposto in tal modo sul filo d'argento, è d'una sottigliezza estrema, essendosi valutato della grossezza molto minore della duecentomillesima parte di millimetro. La grossezza di un tale strato, confrontata con quella della foglia d'oro ottenuta dal battiloro, si è trovata essere nel rapporto di 146 a 2380 (1). Si ha pure una grandissima sottigliezza nello strato d'oro depositato sopra un metallo col mezzo della corrente elettrica, col processo che insegneremo. L'arte di depositare l'oro in tal maniera è affatto moderna, e si giunge con essa a coprire d'uno strato continuo tutta la superficie d'un cucchiaio comune d'argento, mediante una quantità d'oro sì piccola, che non sorpassa il valore di un soldo. Per valutare la grossezza d'un tale strato, si osservi che un chilogrammo, o 10000 grani metrici d'oro monetario costano lire metriche 3100 o centesimi 310000 di quella unità di moneta (§. 45). Con questi dati, si trova facilmente che pel valore di 5 centesimi di lira si hanno grani 0,1613 d'oro. Sapendo poi che l'oro è circa 19 volte più denso dell'acqua e che un decimetro cubico di questo liquido pesa un chilogrammo (§. 44); si deduce che grani metrici 0,1613 d'oro hanno il volume di millimetri cubici 0,83. Ora un cucchiaio d'ordinaria grandezza col suo manico, potendosi ritenere che nelle due superficie superiore ed inferiore presenti l'estensione di circa un decimetro quadrato; ne risulta che il volume di 0,85 di millimetro cubico d'oro è stato disteso sulla superficie d'un decimetro quadrato. Supposto l'oro uniformemente distribuito sul cucchiaio, si ricava che lo strato di questo metallo ha la grossezza di $\frac{1}{11765}$ di millimetro lineare, ossia una grossezza minore dell'undicimillesima parte di un millimetro. Nell'indoratura a mercurio si ha per minimo risultato sopra un decimetro quadrato grani 0,274 d'oro (2), che avrebbe il volume di millimetri cubici 1,44, e quindi la grossezza dello strato d'oro sarebbe di $\frac{1}{6944}$ di millimetro, vale a dire circa la settimillesima parte di millimetro.

148. Egli è in virtù di quella somma tenuità, cui si può ridurre l'oro, che esso si distende sopra fili d'altro metallo grandemente as-

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences* di Parigi, vol. del 1713, pag. 205.
(2) Vedi *Annali di Fisica, Chimica, ecc.* di Majocchi, T. VII. pag. 106.

sottigliati ed allungati, e si riduce in quelle esilissime laminette dorate delle quali le arti si servono nella fabbricazione dei galloni e nel ricamo.

Osserviamo altresì che nell'esempio tratto dall'arte del filaloro vengono impiegati chilog. 0,0003 d'oro per coprire un filo d'argento della lunghezza di 444000 metri, il quale risulta del diametro di circa 1/10 di millimetro. Si è veduto poi che lo strato d'oro ha una sottigliezza esilissima. Nulladimeno questo strato forma un corpo continuo, le cui parti stanno ancora unite. Imperocchè immergendo porzione di questa piccola lamina nell'acido nitrico (*acqua forte*), che ha la proprietà di sciogliere l'argento senza intaccar l'oro, l'argento viene sciolto, e rimane la laminetta d'oro traforata internamente, le cui particelle stanno ancora unite e compaiono alla nostra vista continue. Si osservi che in questo stato di attenuazione la laminetta conserva tutte le proprietà che caratterizzano l'oro; essa resiste ai reagenti chimici ai quali l'oro in massa resiste; essa è intaccata da quelli i quali intaccano l'oro, e forma con essi delle combinazioni, le cui proprietà sono assolutamente le stesse. L'oro dunque, essendo stato così tenuamente diviso, non ha cangiato natura. Il platino, che è un metallo duttile e consistente quanto l'oro, si sottopone anch'esso a simili prove.

149. Delle prove della sorprendente tenuità, a cui può essere ridotta la materia, ci vengono prestate dalle arti chimiche. Eccone due esempi presi dall'arte del tintore e del profumiere, cioè dalle sostanze coloranti ed odorifere.

Una piccola quantità di carminio (specie di polvere che si estrae dall'insetto detto cocciniglia) del peso di mezzo grano metrico o di chilog. 0,00005 si scioglie in 15 chilogrammi d'acqua posta in un vaso. Tutta l'acqua ne resta colorata. Con quest'acqua si tingono delle matasse di filo di lino, il quale, se si stendesse nel verso della sua lunghezza, occuperebbe ben 50 miglia geografiche italiane, ossia metri 90000, eguali a 90 milioni di millimetri. E siccome si è osservato (§. 147) che un millimetro si divide in 8 parti; così il detto filo colorato potrà essere diviso in 720 milioni di parti, ciascuna delle quali deve avere una porzione del mezzo grano di carminio. Ora se si supponga che ciascun pezzetto di filo lungo 1/8 di millimetro contenga almeno due molecole di principio colorante, risulta che un mezzo grano metrico di carminio è divisibile in mille e quattrocento e più milioni di parti visibili. Lo stesso si ottiene tingendo l'acqua con indaco e con altre materie coloranti.

Google

Le sostanze odorifere come il muschio, l'ambra, l'essenza di trementina ecc., che per l'affinità che hanno coll'aria si sciolgono in essa, o si uniscono per la stessa cagione ad altre sostanze rendendole odorose, ci somministrano pure molti fatti atti a mostrarci il numero prodigioso di parti in cui può essere divisa la materia. Un grano di muschio (sostanza odorifera che si ricava da un animale) spande un odore penetrante in una stanza ove l'aria sia anche spesso rinnovata; e ciò senza che il granello di muschio scemi sensibilmente il peso. Supponiamo che la stanza in cui si trova questo grano di muschio abbia la lunghezza di 10 metri, la larghezza di 8 e l'altezza di 5: la sua capacità sarà di 400 metri cubici. E siccome un metro cubico contiene 1000 milioni di millimetri cubici; così l'intera capacità della stanza sarà di 400000 milioni di millimetri cubici. Ora supposto che un millimetro cubico contenga almeno una decina di particelle odorose, ne viene che nell'intera stanza si sarebbero sparse quattro bilioni di particelle odorose del muschio, senza che esso si trovasse scemato sensibilmente di peso. In qual numero prodigioso di parti si è dunque divisa quella particella di materia che era già sì piccola da non avere peso sensibile! Qual sorpresa proveremo nell'udire che questo muschio per qualche tempo seguita a rendere odorose le molecole della nuova aria, che s'introduce nella stanza, senza scemare sensibilmente di peso! Qual grado di divisibilità! Esso sorprende la più feracè imaginazione!

Ma in somiglianti fenomeni è veramente materia che si esala? A togliere ogni dubbio recheremo il seguente fatto. Una piccolissima boccia conteneva dell'essenza di muschio preparata nell'officina di Santa Maria Novella di Firenze. Essa era chiusa da un tappo di sovero, coperto con una pellicola animale assicurata con ispaghetto ed investita di ceralacca. Senza che la boccettina venisse aperta, la sostanza odorosa dopo circa due anni evaporò e si disperse interamente, passando attraverso i pori delle materie, con cui era turata. Tale esalazione ebbe effetto al calore ordinario dell'atmosfera ed a quello al più del corpo umano, per essersi portata la boccettina alcune volte in saccoccia, dove spandeva un sensibile odore di muschio all'intorno, che si conservava negli abiti anche parecchi giorni dopo essere stata levata. Il piccolo vasellino conservasi nel gabinetto di fisica del R. Liceo di S. Alessandro in Milano. D'altronde della realtà di queste esalazioni materiali estremamente attenuate non dobbiamo dubitare quando si osserva che, al pari dei vapori di liquido, spiegano una forza espansiva.

I numeri, che esprimono le parti in cui si divide una quantità già piccola di materia, sono così enormi che la nostra imaginazione non può farsene un'adequata idea. Nell'esempio riferito delle particelle di muschio si hanno numeri, che esprimono parecchie migliaia di milioni. Per farsi un'idea del numero di queste particelle, ammettiamo che nel contarle s'impieghi per ognuna un secondo di tempo. Ora per contare soltanto 1000 milioni di secondi, una persona, occupandosi giorno e notte, dovrebbe impiegare più di 32 anni, vale a dire quasi tutta la sua vita in tale operazione.

150. Osserviamo che nella *medicina omeopatica* si ordinano all'ammalato le millesime ed anche le milionesime parti di qualche grano di farmaco; e si fa uso dell'egual processo delle soluzioni chimiche per dividere quella già piccolissima quantità di materia in un numero sì grande di parti. Si scioglie uniformemente il grano di materia medicinale in una sufficiente quantità d'acqua o di altro liquido, che non eserciti azione chimica sul farmaco, e di questa soluzione si prende facilmente la millesima o milionesima parte, che conterrà la dose di farmaco ordinata dal medico. Si riduce poi al modo solido con altre sostanze in pillole fatte con materie, che non esercitano azione chimica su quella sostanza medicinale.

Osserviamo altresì che a malgrado della tenuità in cui è stato diviso il mezzo grano metrico di carminio e la particella di muschio, la prima sostanza non ha cessato di colorire in rosso il filo di lino, e la seconda (che si è sciolta nell'aria della stanza) di avere lo stesso odore della massa da cui si è staccata. Il che prova che la materia conserva le sue proprietà quantunque attenuatissima.

151. Gli esseri organizzati del regno animale ci presentano delle prove della sorprendente tenuità in cui può dividersi la materia. La pulce, p. es., animale per se stesso già molto piccolo, ha sei piedi, gli occhi, le antenne e depone le uova: di qual tenuità dovranno essere questi piedi, questi occhi, queste antenne e queste uova? Ma ciò è poco, giacchè esistono altri animali d'una piccolezza tale che sfuggono affatto a' nostri occhi, di maniera che fa d'uopo di un buon microscopio per ravvisarne l'esistenza. Vi sono di questi animaletti infusorii sì piccoli che, secondo Ehrenberg hanno la grossezza di $\frac{1}{4000}$ ed anche di $\frac{1}{6000}$ di millimetro (1). Se ne trovano

(1) Si vegga l'opera di lui: *Die Infusionsthierchen als vollkomene organismen.* ecc. Lipsia 1838 con 64 tavole.

nell'aceto, nel latte ed in molte altre sostanze, allorchè sono state esposte all'aria libera per qualche giorno. Le dette sostanze osservate col microscopio presentano una moltitudine di questi animaletti, che si muovono in tutti i versi con una grande vivacità come in un mare. Qualcheduno ha una specie d'alette, che agita continuamente; altri hanno la testa ornata di pennacchi; ve ne hanno alcuni, che somigliano a lunghe anguille e serpeggiano avanti ed indietro con egual facilità. In quelli, i cui corpi sono trasparenti, si discoprono dei vasellini e dei canaletti, nei quali scorrono degli umori. Quale dev'essere la finezza prodigiosa di questi canaletti e vasellini, e dei globetti dei fluidi che in essi scorrono, e quale la tenuità degl'integumenti che formano le loro pareti! Di quale inconcepibile delicatezza dev'essere la loro struttura e quella di tanti organi che servono al moto, alla respirazione ed alle altre funzioni vitali di sì piccioli esseri! Nulladimeno questi organi esistono colle loro forme determinate e si propagano costantemente nella stessa specie di generazione in generazione. Questo nuovo mondo, quasi impercettibile, è simile al nostro per le maraviglie dell'organizzazione degli esseri che lo abitano: cosicchè si potrebbe sospettare che esistessero altri animaletti più piccioli dei precedenti, e che fossero, riguardo a questi, quello che sono rispetto a noi le pulci, i pidocchi, ecc.

152. Infondendo delle sostanze vegetabili nell'acqua contenuta in una larga tazza, si procura il mezzo d'istituire delle osservazioni di questa specie ed assicurarsi col fatto dell'esistenza di quegli esilissimi esseri viventi, che dimostrano la somma divisibilità e tenuità, cui la natura stessa riduce la materia. Coll'infusione del fieno si ha una grande varietà di tali animaletti. Si prende un poco di fieno, che si taglia e si ammucchia nella tazza di vetro, e poscia si versa su di esso dell'acqua sino a coprirlo interamente, aggiungendo nuova acqua quando la prima sia assorbita. Nell'estate, dopo qualche giorno, si forma superiormente una sostanza schiumosa. Si prende una goccia di liquido, dove è sciolta questa sostanza, e si mette sul portoggetti del microscopio: si osserveranno allora, coll'aiuto di questo strumento, simili animaletti, i quali in pochi giorni aumentano in grossezza e in numero. È difficile di enumerare la varietà degli oggetti, che si scoprono in diversi tempi in quelle infusioni. Gli animaletti più numerosi hanno la forma ovale, e con lenti a grande forza amplificativa si vedono in essi le piccole gambe e molte fibrille alla testa, le quali sono tenute continuamente in moto per

predare altri animaletti più piccoli di essi. Per accertarsi dell'intima organizzazione di quegli esseri, si mettono essi in liquidi colorati, che possono prendere dentro di sè per nutrimento, ed allora si vede internamente il liquido colorato trasportarsi nelle diverse parti dell'animaletto.

Il regno animale presenta dunque degli esempi sorprendenti dell'estrema divisibilità e somma tenuità, cui può essere ridotta la materia. A compimento di queste cognizioni aggiungeremo che il *filo della lana* si è trovato del diametro di millimetri 0,02, *quello del bozzolo di seta* di millimetri 0,01. I fili di bozzolo del bigatto sono d'una tale tenuità che se ne richieggono un gran numero per formare la seta da cucire; ma una tale tenuità non è nulla in confronto di quella del filo di ragno. Si calcola che un peso di circa un grammo di questo filo, quando venisse disteso, potrebbe occupare in lunghezza la distanza che passa da Milano a Venezia e due volte quella da Torino a Genova, vale a dire circa 250 chilometri.

153. Osserveremo che questa estrema tenuità, in cui può essere divisa la materia, serve mirabilmente alla conservazione degli esseri che formano l'universo. Di fatto per questa divisione i corpi si separano nelle loro particelle in uno stato di somma tenuità e servono in tal modo alla conservazione d'altri corpi. Così il solfo non si unirebbe al mercurio per formare il *cinabro* (solfuro rosso di mercurio), se prima mediante il calorico non si fossero divise le molecole di queste due materie in modo che l'affinità di composizione possa agire sulle parti minime, e formare in tal maniera un composto; come pure una sostanza minerale rotta in più pezzi non si unirebbe sotto una sola massa cristallizzata, se prima la natura o l'arte, col mezzo di qualche liquido o del calorico, non abbia separate ed attenuate in modo le molecole di lei, che, sottratto il liquido solvente o il calorico fondente, possa agire l'affinità d'aggregazione. Parimente i vegetali non crescerebbero, se non potessero alimentarsi di certi principii risultanti da decomposizioni e divisioni di materie atte al loro nutrimento. Istessamente gli animali, per questa somma divisibilità della materia, ricavano di che sostentarsi da certe sostanze che apparentemente non hanno alcuna somiglianza colla materia animale stessa. Di qual utilità non è alla medicina questa somma divisibilità della materia? Molti farmachi non agiscono sul corpo animale, se prima non siano divisi in più parti.

Queste trasformazioni o meglio nuove composizioni succedono in virtù di forze, la cui natura ci è ignota. Nei minerali questa forza si

Digitized by Google

è chiamata col nome d'*affinità* (§. 9), e nei vegetali ed animali la si è detta *forza organica*.

154. Quanto più un corpo vien diviso nelle sue parti, tanto più se ne aumenta la superficie, restando ancora la stessa massa: poichè vengono con ciò a rendersi estrinseche le superficie interne, le quali rimanevano nascoste dai mutui contatti. Egli è per ciò che un ettolitro di grano macinato occupa un volume maggiore di quello che occupava prima. Quando un corpo venga diviso in parti simili, si dimostra che l'aumento di superficie segue la ragione della radice cubica del numero di dette parti. Infatti si chiami S la superficie, V il volume del corpo, ed n il numero di parti uguali e simili in cui vien diviso: è chiaro che il volume di ciascuna di queste parti sarà espressa da $\frac{V}{n}$. Notando con D, d i lati omologhi del corpo intero e di una delle parti simili ad esso, si avrà la proporzione: $V : \frac{V}{n} : : D^3 : d^3$ ossia $D^3 : d^3 : : n : 1$. Esprimendo inoltre con z la superficie d'una di quelle parti, si avrà eziandio $S : z : : D^2 : d^2$, ossia $SD : zd : : D^3 : d^3$, e per conseguenza $SD : zd : : n : 1$, da cui si ricava $nz = \frac{SD}{d}$, che è il valore della somma nz di tutte le superficie delle n parti, in cui è stato diviso il corpo. Istituendo ora una proporzione fra la superficie S dell'intero corpo e la somma nz delle superficie parziali, si ha $S : nz : : S : \frac{SD}{d}$, ossia $S : nz : : d : D$.

Ma siccome $D^3 : d^3 : : n : 1$, e quindi $D : d : : \sqrt[3]{n} : 1$; così si avrà

$S : nz : : 1 : \sqrt[3]{n}$, cioè *la superficie delle parti in cui vien diviso il corpo, si accresce in ragione della radice cubica del loro numero, quando le parti stesse siano eguali fra loro e simili all'intero.*

L'accrescimento di superficie che risulta nella divisione dei corpi è il motivo per cui l'attrazione molecolare aumenta quanto più i corpi sono divisi: imperciocchè, aumentandosi la superficie, crescono i punti di contatto e quindi l'azione dell'attrazione molecolare diventa più grande (§. 26).

155. Dai fatti addotti si deduce che un corpo passa ad uno stato di divisione estrema, senza che la natura delle particelle cessi d' essere identica colle più grandi masse. L'arte e la natura dividono i corpi in minuzzoli d'una piccolezza estrema. L'oro, p.e., si è veduto che può essere ridotto in foglie sottilissime, tirato in fili delicatissimi,

tagliato in particelle esilissime, liquefatto in un crogiuolo, disciolto da un acido e perfino ridotto e dissipato in vapore per mezzo d'un intenso calore: tuttavolta dopo essere passato per uno di questi stati ed anche successivamente per tutti, si possono raccogliere i suoi atomi e ricomporre la massa primitiva senza diminuzione del suo peso e senza cambiamento della sua natura. Lo stesso avviene con tutte le materie e con tutti gli elementi, di cui si compone il nostro globo: che si rompano, che si squarcino, che si disciolgano, che si polverizzino, che si riducano in vapore, si possono raccogliere ancora sotto la stessa massa senza che la loro natura abbia cambiato.

I primi elementi, gli atomi dei corpi sono dunque indivisibili e incorruttibili; e se la costituzione di ciascun corpo in particolare potesse cambiare natura colla divisione estrema della materia portata sino al suo annichilamento; allora l'universo sensibile muterebbe col tempo d'aspetto. Ma ciò non è il caso, e lo stato naturale delle cose materiali ha sussistito sempre lo stesso sin dalla sua origine: gli elementi d'una quercia, d'un faggio sono sempre i medesimi e non hanno cambiato la loro natura e le proprietà, di cui erano dotati avanti di comporre quelle piante; e gli atomi materiali, che costituiscono un cavallo, sono ciò ch'erano prima d'entrare nella formazione di quell'animale. Era dunque un'idea infondata ed assurda quella degli antichi alchimisti di adoprarsi per trasformare alcune terre in oro.

Tutto perisce quaggiù, ma tutto si riproduce e si rinnova nella natura materiale: gli elementi si separano, si disciolgono, ma per formare nuovi composti, per entrare in nuove combinazioni. Dalla legna che ci riscalda, non lasciando altro che un poco di cenere, sino alla candela che rischiara le nostre abitazioni, niente va perduto; ma tutto ricomparisce sotto altre combinazioni e forme, e si riproduce, e disgiunte o combinate, la scienza ne può raccogliere tutte le parti. Quelle metamorfosi degli elementi dei corpi sono state poste da moderni nella categoria dei delirii dell'alchimia. Quantunque non si abbia una sperienza diretta per prova, tutto però c'induce a ritenere l'indivisibilità delle particelle primordiali o degli atomi elementari della materia, e l'insufficienza di qualunque operazione dell'arte e della scienza per trasmutare gli atomi primitivi d'un corpo in quelli d'un altro di diversa natura. Quei roghi funebri dell'antichità, sul quali gli amici del defunto si compiacevano di consumare l'inviluppo materiale d'un'anima nobile e cara, non corrisponderebbero adunque che molto imperfettamente allo scopo, cui erano destinati: e il fuoco

Digitized by Google

che sembrava aver dissipato tutto ciò appunto che non era spirituale, non serviva che a separare i materiali d'un antico edificio per farli entrare nella costruzione d'un nuovo.

156. Si è veduto che i corpi odorosi esalano particelle così esili, che, dopo essersi diffuse in un grande ambiente, non manifestano diminuzione sensibile di peso nei corpi, da cui si staccarono (§. 149). Vi sono dei fatti, pei quali siamo indotti a credere che eziandio dai corpi non odorosi emanino delle esilissime particelle di materia, che non riescono sensibili ai nervi olfatorii dell'uomo. Alcune sostanze morte e corpi disorganizzati spandono un odore sensibile anche ai nostri organi, quando siano strofinate e riscaldate. Parecchi animali, dotati dalla natura di finissimi e delicati organi, scoprono coll'odorato degli oggetti nascosti, le cui esalazioni non riescono sensibili ai nervi olfatorii dell'uomo. Il corvo sente, a qualche chilometro di distanza, gli effluvii della carogna, di cui si pasce. Quante meravigiie poi non si raccontano della squisitezza di quel mirabile istinto nel cane! Gli organi di lui hanno tale finezza che egli scopre certi corpi, certe materie, di cui l'uomo non si accorge.

A mostrare l'esalazione di particelle tenuissime di materia serve la così detta *sperienza dell'inchiostro simpatico*. La soluzione di *sale di Saturno* (acetato di piombo) è conosciuta volgarmente sotto la denominazione d'*inchiostro simpatico*, relativamente ad un'altra, da cui nella loro combinazione viene annerita. Una tale soluzione, ben feltrata, è trasparente, e con essa si scrivono sopra la carta alcuni caratteri, che dopo essere asciugati sono invisibili. Questa carta così preparata si colloca tra la coperta e il frontispizio d'un libro del volume ben anche di parecchie centinaia di pagine. Un altro foglio di carta imbevuta d'una soluzione di *calce ed orpimento* (solfuro d'ossido d'arsenico) si dispone fra l'ultima pagina del libro e la coperta corrispondente. Il libro si carica ben anche d'un peso; se dopo qualche ora esso viene riaperto, si trova che il liquido della seconda carta ha colorito colle sue esalazioni i caratteri invisibili scritti sulla prima.

Questa sperienza si riporta, in parecchi *Trattati di fisica*, per provare la porosità della carta, credendosi comunemente che le emanazioni del liquido, composto di calce ed orpimento, passino pei pori dei fogli del libro per colorare i caratteri scritti coll'inchiostro simpatico. Essa in vece presenta un'idea della sottigliezza delle particelle materiali, che esalano dal solfuro alcalino, le quali per affinità sono attratte e giungono a combinarsi col sale nominato, producendo un composto di tinta nera; e ciò senza passare pei pori della carta.

L'aria annidata in tenuissimi strati fra i fogli, in cui trovasi la soluzione di calce ed orpimento, ne riceve le esalazioni, che riescono sensibili anche all'odorato dello sperimentatore, e col veicolo di quella esterna si trasmettono gli effluvii all'aria compresa fra le pagine, ove è collocata la soluzione di acetato, per cui i caratteri ne vengono tinti. Che la cosa debba essere così e che gli effluvii non attraversino i fogli del libro, se ne ha una prova nell'osservare che il fenomeno non succede se il foglio scritto con l'inchiostro simpatico è rinchiuso dentro i fogli del libro incollati all'intorno a foggia d'un borsellino.

Altri fenomeni consimili, conosciuti pure sotto il nome d'*inchiostri simpatici*, dimostrano egualmente le esalazioni di particelle esilissime di materia attratta da un'altra, che si colora nella combinazione. Una soluzione saturata di solfato rameico (*vitriolo azzurro*) è un inchiostro simpatico, e i caratteri scritti con esso disseccandosi diventano invisibili. Esposti poscia alle esalazioni dell'ammoniaca, si colorano in azzurro. Il colore però scomparisce a poco a poco, e ritorna sottoponendo di nuovo a quell'emanazione i caratteri invisibili.

157. Le particelle, che si portano a colorire il così detto inchiostro simpatico, dimostrano la sottigliezza delle esalazioni di alcune materie e ci rappresentano nello stesso tempo il modo con cui si presentano talvolta i principii funesti di certi morbi pestilenziali. Pare che l'aria sia il ricettacolo ed il veicolo del germe venefico. E si sa che il terribile malore della pestilenza è stato sovente trasportato in una lettera e in ammassi di cotone, di lana o di altre consimili materie provenienti da luoghi infetti, per cui sembra che l'aria rinchiusa nei ripostigli di quegli oggetti conservi in sè le particelle miasmatiche, le quali poi si comunicano al luogo dove sono aperti, diventando il germe di quello spaventevole flagello.

Tutti gli effluvii, di cui si è parlato, provengono da particelle esilissime, che si distaccano dai corpi, sia in causa d'un movimento intestino della materia, dal quale sono spinte all'intorno; sia in virtù dell'aria circostante da cui sono attratte e portate con sè per unirsi poscia ad altri corpi. Quegli effluvii materiali, appunto per la loro estrema tenuità ed esilità, si sottraggono a tutti i mezzi per raccoglierne ed isolarne delle quantità sensibili. Qualunque sia però la loro sottigliezza, vi sono parecchie materie che le arrestano, le intercettano ed impediscono la loro diffusione. La semplice interposizione d'un vetro, d'una stoffa gommata può intercettare l'espansione dell'odore il più acuto e delle esalazioni

le più sottili, impedendo di giungere a colpire il senso dell'olfato o a mettersi a contatto con qualunque parte del nostro corpo. E all'appoggio di questo principio che i medici, gl'infermieri, nei casi di pestilenza, indossano una veste di taffetà o tela gommata, e si coprono le mani con guanti della stessa stoffa per prestare i loro soccorsi agli ammalati negli ospedali e nelle case di salute, senza pericolo che il malore si comunichi. In tal caso bisogna anche con esalazioni di cloro purificare l'aria che si presenta al canale della respirazione.

Il professore Gazzeri ha proposto una machina, che opera da sè con un motore meccanico, per raccogliere dai luoghi insalubri ed infetti quantità sensibili di quelle particelle miasmatiche, e per averne in dose sufficiente ad operare coll'analisi chimica (1); altri hanno consigliato di disporre in quei luoghi un gran numero di tavole orizontali a differenti altezze dal suolo, sulle quali si colloca un gran numero di vetri concavi ripieni di acido solforico anidro. E ciò nella supposizione che quelle particelle pestilenziali siano mescolate coll'umidità dell'aria, che viene attratta dall'acido in un alle particelle ad essa riunite (2).

158. Un corpo dicesi *compressibile* allorquando, mediante una forza esterna, si può ridurre ad occupare colla stessa quantità di materia un minore spazio, cioè si possa minorare di volume. L'attitudine poi che hanno i corpi di arrendersi all'azione di questa forza dicesi *compressibilità*. Questa proprietà dipende dalla porosità, e ne è una prova; giacchè, riducendo la massa sotto minor volume, bisogna che essa sia fornita d'interstizii, dove poter essere allogate le parti delle molecole riavvicinate.

159. Essendo tutti i corpi porosi (§. 48), ne viene che si potrà sempre concepire una forza esterna capace a riavvicinare maggiormente le loro molecole; e se alcuni non si prestano agli agenti, coi quali d'ordinario noi cerchiamo comprimerli, non si dovrà dedurre ch'essi siano incompressibili, mentre questo dipenderà da un difetto dell'agente che si adopra per comprimerli, e non dal non voler essi prestarsi alla compressione. Dunque si può conchiudere con ragione che la compressibilità è una proprietà generale a tutti i corpi.

160. Facciamo conoscere alcune sperienze fatte su diversi corpi, onde convincerci fisicamente essere la compressibilità una proprietà

(1) Vedi *Annali di fisica chimica* ecc., di Majocchi, tom. VII, pag. 304.
(2) Vedi i medesimi annali, tom. X, pag. 267.

generale (§. 33, III). Il platino, l'oro, che sono i corpi più densi e per conseguenza dotati di un minor spazio vacuo nel loro interno, come pure tutti i metalli percossi col martello ritengono più o meno le impressioni che su loro si fanno e divengono più compatti: ciò che prova essere essi stati compressi. La compressione dei metalli succede nell'essere lavorati sotto l'azione della filiera, del laminatoio, del maglio, del conio, dei pressoi e simili. I tessuti e molte altre materie, dotate di pori visibili, si comprimono anche con lievi forze. I legni, che sono strascinati al fondo del mare da corpi molto pesanti uniti ad essi, quando restano liberi, stanno al fondo per essere compressi e divenuti più densi in virtù della pressione dell'acqua sovrincumbente.

Si può poi conoscere la compressibilità di quei corpi solidi, che per la loro grande elasticità non ritengono le impressioni, osservando che, conformati essi sotto la figura d'una palla sferica, toccano un piano ben levigato in un sol punto, e che se sul piano, tinto leggermente d'un colore diverso da quello del corpo sferico, si lascia cadere qualcheduna di queste palle, dopo l'urto scopresi sul piano e sulla palla una macchia rotonda visibilissima, la quale prova che la palla o il piano, o ambidue questi corpi sono stati compressi.

161. I liquidi sono i più ribelli alle prove sperimentali dirette a comprimerli. I fisici dell'Academia del cimento di Firenze fecero costruire una sfera cava d'un metallo compatto, e dopo averla empiuta d'acqua e chiusa esattamente, la sottoposero ad una forte pressione, onde comprimere quel liquido: nel qual caso la sfera, cambiandosi in uno sferoide, diventa di una minore capacità. Il liquido però, invece di essere compresso, usciva dai pori del metallo. Da questa sperienza alcuni dedussero essere l'acqua e quindi i liquidi incompressibili. Noi però osserveremo che questa sperienza prova bensì non essere quella forza bastante per comprimere il liquido, ma non escludere che sotto un agente più gagliardo esso si possa comprimere (§. 158). Di fatto osserviamo che l'acqua e qualunque altro liquido, colla sottrazione del calorico, sono condensabili (§. 132); per lo che, impiegando una forza esterna eguale in vigore alla coesione che le molecole esercitano in virtù della sottrazione del calorico, si potranno anche i liquidi ridurre a minor volume, cioè si potranno comprimere. Quantunque l'effetto di queste due proprietà sia il medesimo, nulladimeno nella prima è prodotto da una forza esterna (§. 158), e nella seconda questo miporamento di volume è generato dalla sottrazione del calorico (§. 132). Un'altra prova della com-

pressibilità dei liquidi si è che trasmettono il suono, allorquando si percuota un corpo sonoro sommerso nei medesimi: il che dimostra essere essi forniti d'elasticità, la quale, come vedremo or ora, è sempre accompagnata dalla compressione. Alcuni fisici moderni hanno imaginato delle machine ingegnose per provare coll'esperienza la compressibilità dei liquidi (1). La compressibilità dei fluidi aeriformi è abbastanza manifesta, e d'altronde avremo occasione di vederne delle prove.

162. Ci riesce di molta utilità che i liquidi non siano così facilmente compressibili; imperocchè, se fosse altrimenti, con somma difficoltà si spremerebbero gli umori dalle uve e da altre sostanze vegetabili. Inoltre per la difficoltà che hanno i liquidi d'essere compressi si contrattano a volume, il quale, non variando sotto le ordinarie pressioni, rimane proporzionale alla massa o al peso (§. 127).

163. Delle tre classi di corpi ponderabili, i fluidi aeriformi sono i più compressibili e il minor grado è occupato dai liquidi, avendo i solidi una compressibilità molto differente fra loro ed intermedia ai corpi delle due precedenti classi. A malgrado però della minorazione di volume, cui i corpi possono essere ridotti sotto l'azione di grandi forze, la compressibilità della materia deve necessariamente aver un limite, al di là del quale non si può essa più ridurre ad occupare colla medesima massa un minore spazio. Imperocchè una volta che i pori siano ristretti sino a portare le molecole, e se si vuole anche gli atomi, ad un contatto quasi perfetto, o a quelle distanze minime che permette la disposizione e la figura delle molecole stesse; egli è chiaro che il volume non potrà ulteriormente essere diminuito senza annientare la materia stessa ed obbligarla ad una compenetrazione, il che è manifestamente impossibile (§. 50). Dunque la compressibilità dei corpi è limitata, e come tale è ritenuta dai fisici moderni.

I piccoli elementi della materia, gli atomi primitivi, che si ritengono indivisibili (§. 155), sono eziandio incompressibili? Quantunque si ammetta l'incompressibilità degli atomi primitivi, non conoscendo però la loro natura non si ritiene una tale proposizione una verità

(1) Dalle sperienze istituite si ricava che, sotto una forza equivalente ad 1 atmosfera, vien prodotta nell'acqua una diminuzione di volume, che Perkins valuta di 0,000048, Canton di 0,000044, ed Orsteed di 0,000045 del volume totale. I risultamenti poi di Colladon e Sturm danno sotto la pressione d'1 atmosfera per l'acqua privata d'aria 0,00004965, e per quella contenente questo fluido 0,00004783.

Digitized by Google

dimostrata. Nelle investigazioni sui corpi scopriamo le loro *proprietà relative*, e non abbiano mezzi per riconoscerne le *assolute*; sappiamo che i fluidi aeriformi sono molto più compressibili di tutti i corpi, e i liquidi del minor grado di compressibilità, senza poter comprendere il punto sin dove può giungere la compressione. Non si comprende inoltre come, per esempio, la cera solida sia *facilmente* compressibile, mentre, liquefatta e ridotta a maggior volume, diventa *difficilmente* compressibile.

164. Dicesi *elastico* un corpo il quale, dopo essere stato compresso, incurvato, ritorto, o teso, ripiglia o almeno tende a ripigliare la figura di prima; e chiamasi *elasticità* l'attitudine che hanno i corpi di ristabilirsi in tal modo più o meno perfettamente alla forma primitiva.

165. Se si comprime colla mano un pallone pieno d'aria, cessata la compressione, la parte premuta riacquista tosto la figura di prima, e con una forza tale che, se il pallone venga a comprimersi urtando contro un ostacolo, esso rimbalza da questo con una certa velocità. Lo stesso succede d'una palla d'avorio o d'acciaio lanciata contro un piano di marmo, la quale viene riflessa dal piano con una forza proporzionale a quella con cui si è lanciata.

Si è già veduto, come in questo caso, si possa riconoscere aver luogo una compressione (§. 160).

166. Incurvata una spada d'acciaio o una bacchetta d'osso di balena o di canna d'India AB (fig. 18); la si vedrà raddrizzarsi tosto che sia cessata la forza da cui era piegata. In questa flessione le parti *m* superiormente all'arco sono allontanate le une dalle altre, mentre le inferiori restano compresse.

167. Un filo di ferro o d'acciaio, oppure un cordoncino di seta e simili, si attacchi per un capo ad un punto fisso e si distenda assicurandolo per l'altro capo ad un perno girevole in un foro. Mediante una manovella si faccia ruotare il perno per alcuni giri per torcere il filo, e poscia si abbandoni a se medesimo. Il filo per quel torcimento si svolgerà e farà girare il perno in verso contrario a quello della torsione per ricondurre le particelle alla primitiva posizione. Nel torcimento avvi pure compressione in alcune parti ed in altre allontanamento: nell'asse del filo succede un condensamento ed all'esterno una rarefazione di parti. In tale riavvicinamento ed allontanamento, che succede nei corpi *elastici per torsione*, le parti tendono a riprendere la loro primitiva posizione con un'energia più

o meno grande, secondo la natura del corpo e la forza con cui è stato ritorto il filo.

168. Tirato per le due estremità AB, CD un pezzo rettangolare ABCD (fig. 19) di gomma elastica, esso prende la forma *abcd*, restringendosi nel verso della sua larghezza ed estendendosi in quello della lunghezza: cessata la forza che lo teneva teso, esso torna a riprendere la figura rettangolare che prima aveva. Le molecole della gomma sono state qui più o meno compresse nel verso della larghezza, e si sono disgiunte in quello della lunghezza. L'elasticità per trazione si ha pure nelle corde del violino ed altri strumenti musicali consimili, dove le corde stesse si tirano con l'arco o con altro mezzo discostandole dalla loro posizione rettilinea.

169. L'elasticità si sviluppa dunque nei corpi in quattro differenti maniere, cioè per *pressione*, per *flessione*, per *torsione* e per *trazione*. I metodi indicati, per mettere in azione queste quattro maniere di sviluppare l'elasticità nei corpi, non sono sempre sufficienti a riconoscerla ed a misurarla, perchè parecchi di essi sono dotati in minimo grado d'una tale proprietà e richiedono quindi congegni appositi per valutarla. Senza entrare nella descrizione dei parecchi congegni inventati per tale uopo e per determinare principalmente il coefficiente d'elasticità proprio a ciascuna specie di corpi, dobbiamo far osservare che tutti i corpi sinora sottoposti al cimento si sono rinvenuti poco o molto elastici, e che l'elasticità quindi è una proprietà generale. Giova osservare che le ultime tre maniere di cimentare l'elasticità dei corpi non possono essere praticate che sui solidi; mentre la pressione serve tanto pei corpi solidi quanto pei fluidi liquidi, ed aeriformi.

Le distinzioni dei corpi solidi in duri ed in molli (§. 12) e quella dei fluidi in elastici ed in inelastici (§. 10) sembrerebbero opporsi a considerare l'elasticità come proprietà generale della materia. Si è però già notato che queste distinzioni sono relative, ed indagini istituite con istrumenti delicati provano che i corpi molli, quantunque in minimo grado, sono pur essi dotati di elasticità; lo stesso è dei liquidi, i quali sono forniti pure di elasticità, ma in grado di molto minore dei fluidi aeriformi. Tra i corpi eminentemente elastici si annoverano i fluidi aeriformi, l'avorio, il bronzo, l'acciaio, il vetro, il marmo, la gomma detta perciò elastica, ecc.; mentre pochissima elasticità manifestano i liquidi, i corpi molli e fragili e quelli che per la loro natura non si prestano ad una grande rimozione dello stato delle loro molecole, senza disturbare le posizioni volute dalla natura

stessa per agire la coesione. Incominciando dai più elastici, i metalli comuni seguono l'ordine seguente: *ferro, rame, argento, oro, stagno e piombo*, ed alcuni liquidi nell'ordine seguente: *etere solforico, alcoole, etere cloridrico, essenza di trementina, acqua, mercurio, acido nitrico, acqua saturata d'ammoniaca*. L'elasticità delle *sostanze aeriformi* è, entro certi limiti, la medesima in essi, ed in ognuno segue la ragione delle loro densità. Ma dell'elasticità e della tensione dei fluidi aeriformi avremo occasione di occuparci nella fisica particolare. Fra i corpi, forniti di sufficiente elasticità ed appartenenti al regno animale, si annoverano le *piume*, i *peli*, le *cartilagini*, la *lana*, l'*osso di balena*, le *corde di minugia*, i *fili di seta*, il *crine*, i *cuoi*, e diversi altri; e fra quelli del regno vegetale la *gomma* detta elastica, il *cotone*, il *lino*, alcuni *legni* e diversi altri; si deve altresì fare una distinzione fra i corpi forniti di *perfetta elasticità* da quelli di *grande elasticità*. I perfettamente elastici riprendono con tutta esattezza la primitiva figura ed alle volte non si trovano molto elastici, come sono i liquidi che hanno una perfetta elasticità quantunque non sia grande; mentre i fluidi aeriformi sono perfettamente e grandemente elastici.

170. La restituzione delle parti nei corpi non ha il suo effetto con un unico movimento contrario a quello, con cui è stato prodotto il cangiamento di forma; ma essa ha luogo con una serie di vibrazioni, per le quali le parti medesime vengono successivamente trasportate al di qua ed al di là del loro sito primitivo, descrivendo degli spazi, che diminuiscono gradatamente in ampiezza, sinchè si mettono in quiete. Queste vibrazioni si riconoscono con mezzi appositi, e in una campana di vetro o di bronzo percossa ci accorgiamo di queste vibrazioni prodotte dalla sua elasticità accostandole un corpo ed anche il dito, che le fa ben presto cessare; e si mostrano anche all'occhio nelle lunghe corde tese di alcuni strumenti musicali e nelle lamine d'acciaio fisse ad una loro estremità. Nella fisica particolare vedremo come da somiglianti vibrazioni nasce il suono. La durata di queste vibrazioni è in generale brevissima ed impercettibile ne' corpi di piccole dimensioni; mentre in quelli di grandi dimensioni si può misurare contando il numero delle vibrazioni che succedono in un dato tempo. Nei corpi di forma circolare e cilindrica si manifestano queste vibrazioni, allorquando sono percossi, avendosi nella percussione una pressione. Le parti più vicine all'impulsione e quelle diametralmente opposte vengono spinte in tali corpi verso il centro; mentre le altre, corrispondenti al diametro normale al primo, pren-

Google

dono un movimento contrario discostandosi dal centro. Il cilindro o l'anello circolare si mette così sotto forma schiacciata nella direzione del diametro secondo cui vien fatta la percossa, allungandosi nel verso del diametro normale al primo. Tosto che ha termine la percussione ed incomincia la forza elastica, succede un nuovo cangiamento di forma opposto al primo, schiacciandosi il corpo nella direzione del diametro normale a questo, secondo cui è stata fatta la percossa. I due cangiamenti si succedono con grande rapidità passando per gradi sempre decrescenti, finchè il corpo acquista la forma stabile di prima.

Su questo principio è fondato il metodo delle vibrazioni per valutare l'elasticità nei corpi, ed in esso ha luogo l'elasticità per pressione. Col metodo delle vibrazioni trasversali e con quelle longitudinali si perviene non solo a riscontrare l'elasticità anche in quei corpi che non sembrano dotati di questa proprietà, ma si giunge eziandio a valutarla. Rammentiamo che per ogni corpo vi ha un limite di elasticità, al di là del quale o si distrugge la coesione, come nei corpi fragili, friabili e in quelli così detti duri, oppure le molecole prendono una posizione permanente diversa dalla prima, come nei corpi molli, duttili e malleabili. L'elasticità si ha bensì nelle quattro maniere indicate nei precedenti paragrafi; ma queste maniere pei diversi corpi devono essere poste in pratica con diversi metodi più o meno delicati secondo il grado d'elasticità del corpo cimentato. Noi abbiamo indicato i metodi più comuni per ottenere l'elasticità per pressione, per flessione, per torsione e per trazione; ma vi sono, come si è veduto per la pressione, altri metodi, che si comprendono in queste quattro maniere per isviluppare l'elasticità.

171. Intorno al metodo per valutare l'elasticità non dobbiamo omettere di far cenno del seguente principio posto in pratica da qualche fisico. È un assioma ammesso nella mecanica, come vedremo nel capitolo seguente, che la *reazione è eguale e contraria all'azione*. Ora l'elasticità reagisce contro l'azione della forza comprimente; talchè, conoscendo la misura di quest'ultima, si avrà anche quella della prima forza. Per conoscere quindi l'elasticità d'un corpo, per esempio d'un globo di metallo; bisognerà determinare la massima forza premente necessaria a comprimerlo senza fargli subire un cambiamento di forma permanente, in modo che, levata una tale pressione, il globo riprenda la primitiva figura. Egli è chiaro, secondo il su detto principio, che la forza premente misurerà l'elasticità, di cui è dotato il metallo del globo. Lo stesso principio si applica eziandio

Digitized by Google

colla flessione, col torcimento e colla trazione, quando si tratta di corpi solidi. Riguardo ai fluidi non vi ha che la prima maniera, cioè la pressione: l'idrogene bicarbonato, per esempio, essendo stato liquefatto a 124 atmosfere, ossia ad altrettante colonne di mercurio dell'altezza di 760 millimetri aventi ciascuna la stessa base d' una colonna atmosferica (§. 139), verrà ad avere un'elasticità minore del peso equivalente a 124 atmosfere, la quale sarà espressa dalla pressione sotto cui quel gas persiste appena senza liquefarsi. Dei fluidi liquidi non si conoscono i limiti, nei quali essi sotto grandi pressioni cambierebbero stato; quindi non può servire questo metodo nella determinazione del massimo grado di elasticità, di cui sono forniti. Ma si può far uso di altri principii su annunziati. L'acqua, per es., si compone soltanto di circa 44 milionesimi del suo volume sotto la pressione d'un'atmosfera (§. 161 nota), e sotto quella di alcune centinaia di atmosfere subirebbe una compressione proporzionata senza alterare il suo stato di fluidità, come lo dimostrano le masse liquide che esistono nelle più grandi profondità dei mari. Ne verrebbe quindi che l'acqua avrebbe un'elasticità superiore alla pressione di alcune centinaia di atmosfere. Ecco la ragione per cui l'acqua ed i liquidi, sotto le ordinarie pressioni anche grandi, si dice che sono perfettamente elastici. Per la facilità, che hanno i fluidi aeriformi di spiegare la loro elasticità anche sotto deboli forze comprimenti, ed i fluidi liquidi di non manifestarla che sotto forze enormi; si comprende come un inviluppo sferico, formato d'una materia cedevole, rimbalza gettato contro un ostacolo duro ed irremovibile se è riempiuto di aria o di qualunque altro gas, mentre questa semplice pressione non ha effetto sensibile se l'inviluppo è riempiuto d'acqua o di altro liquido.

172. Ma qual è la causa per sui si sviluppa nei corpi l'elasticità? D'una forza talvolta sì potente da eguagliare il peso di molte centinaia ed anche di moltissime migliaia di chilogrammi, come è il caso dei liquidi. Il calorico e l'attrazione molecolare o la coesione sembra che concorrono ambedue assieme, e spesso soltanto quel fluido imponderabile a dare l'elaterio ai corpi. Nei solidi vi ha il concorso di questi due agenti; i fluidi liquidi ed aeriformi invece sono dotati di elasticità soltanto in causa del calorico. Infatti questa sostanza imponderabile si unisce ai corpi e gli investe in virtù d'una tendenza particolare che ha di diffondersi nelle masse della materia e che sembra della specie dell'attrazione molecolare. In ogni modo di sviluppare l'elasticità vi ha sempre un condensamento di parti, come si è veduto,

e molti fatti, che vedremo trattando degli imponderabili, provano che nel costipamento dei corpi vi ha sempre uno sviluppo di calorico. Essendo quindi il corpo in tutto o in parte compresso, il calorico, interposto ed aderente alle molecole, è obbligato a sortire dai corpi, senza però cessare in esso la tendenza, che possiede di unirsi alla materia. Quando dunque per una forza meccanica qualunque sia stato espulso dagli interstizii dei corpi, non lascia il calorico d'essere attratto dalle loro molecole; e quando sia cessata la compressione, esso in virtù di quell'attrazione esercita uno sforzo per intromettersi di nuovo fra le molecole stesse cercando di costringere il corpo a disporsi sotto la primiera forma, per cui lo rende elastico. Avviene però che le particelle, nella loro rimozione, prendono talvolta nuove posizioni stabili. D'altronde l'attrazione molecolare può acquistare un maggior vigore in virtù della diminuita distanza, e per quanto il calorico, chiamato dalle molecole stesse, si sforzi di condurle alla loro ordinaria posizione, la coesione prevale e la forma primitiva non è ripresa dal corpo che in parte. La coesione poi nei solidi concorre a renderli elastici unitamente al calorico; perciocchè la forza per cui si discostano in alcuni casi le molecole, quando non sorpassi il limite voluto dalla coesione stessa, questa tende a ricondurle alla posizione primitiva e quindi a rendere il corpo elastico. Egli è perciò che i solidi investiti di nuovo calorico perdono d'ordinario del loro elaterio, mentre i fluidi l'aumentano, perchè in essi una tale proprietà è dovuta al solo calorico. In questo ultimo caso l'elasticità prende talvolta il nome di *tensione* o di *espansibilità*, che, a dir vero, è sempre la stessa elasticità aumentata dal calorico aggiunto. Nei fluidi appunto l'accrescimento di temperatura aumenta sempre la loro elasticità, il che non avviene nei solidi.

173. Nei corpi solidi l'elasticità dipende in molta parte dalla coesione nella maniera su indicata. In quelli molli la coesione è debole, per cui riescono imperfettamente elastici; d'altronde in essi le molecole possono prendere nuove posizioni senza disturbare l'azione della coesione. Nei corpi duri invece la coesione non permette così facilmente una rimozione di parti, e sembra appunto per ciò che questi solidi presentano un gran numero d'esempi di perfetta elasticità. Provando le molecole dei corpi duri un piccolo allontanamento o un lieve disordine nella loro rispettiva posizione senza uscire dalla sfera della loro mutua attrazione, appena cessa l'agente che ha contrariato l'ordine esistente, la coesione riprende in esse il suo vigore e le riconduce alla loro posizione ordinaria producendo

nel corpo l'elasticità. Egli è per ciò che in alcuni solidi l'aumentata coesione delle parti li rende maggiormente elastici; ed alcuni metalli sotto l'azione del martello, della trafila, dello strettoio, del laminatoio, aumentano il loro elaterio. D'altra parte nell'acciaio si accresce l'elasticità colla tempra, nella quale operazione le molecole hanno preso un ordine sforzato, che non può essere alterato senza che la coesione tenda a ristabilirlo con un certo grado d'energia; talchè una tempra troppo forte rende il metallo fragile, quantunque sia aumentato il suo elaterio. La tempra in generale rende più elastici i metalli: vi ha però un'eccezione nella lega composta di una parte di stagno e sette di rame (1), colla quale si forma un corpo elasticissimo conosciuto sotto il nome di *tam-tam* dai Cinesi, di cui essi si servono per produrre un forte suono. Se questa lega è temprata, diminuisce di molto la sua elasticità. Essa, dopo essere stata riscaldata sino all'incandescenza e lasciata raffreddare lentamente nell'aria, è fragile ed elastica e non malleabile; al contrario risulta alquanto flessibile e meno elastica quando, dopo averla riscaldata a quel grado, s'immerge subitamente nell'acqua fredda per farle subire la tempra. Ciò fa sospettare un cangiamento di combinazione o modo di unione delle molecole d'una tale lega, unione che ha luogo inversamente nei due componenti, i quali separatamente non ne sono suscettibili. Potrebbe cioè la lega, nelle due circostanze di tempra e non tempra, presentare colle molecole due stati dimorfi o di cristalli di diversa forma. Si sa infatti che la medesima materia presenta, nell'aggregazione delle sue molecole, questa diversità di forma, per la quale acquista proprietà fisiche differenti. Il bronzo è una lega composta pure di stagno e rame nella proporzione di 1 a 22; ed è meno elastico del *tam-tam*.

Dipendendo l'elasticità dei fluidi unicamente dal calorico, il quale conserva sempre la proprietà d'unirsi alla materia, essi non scemano mai nel loro elaterio tenuti compressi anche per molto tempo; nei solidi al contrario l'elasticità dipendendo anche dalla coesione delle loro molecole, essa può variare per una compressione mantenuta per lungo tempo, perchè le molecole possono in questo tempo acquistare nuove posizioni stabili. La lama d'una spada d'acciaio può essere piegata, e raddrizzarsi come prima quando sia tosto levata la forza di flessione; tenuta però continuamente piegata per alcuni anni,

(1) secondo Darcet questa lega si compone invece di 22 di stagno e di 78 di rame.

Digitized by Google

essa non si raddrizza perfettamente ed ha perduto in parte la sua elasticità. Egli è per ciò che le molle d'orologio col tempo perdono qualche porzione della loro forza elastica; quantunque ogni giorno si svolgano dalla piegatura che loro si dà nel caricare l'orologio stesso. I solidi poi, che si sottopongono alla flessione per generare in loro l'elasticità, devono essere non molto grossi, perchè quando abbiano molta grossezza nel piegamento si giunge a discostare le molecole in modo che non ha più luogo fra esse la coesione, per la quale si manifesta la loro elasticità.

174. In parecchi solidi l'elasticità si aumenta coll'arte mettendo le molecole in posizione da provare maggiormente l'azione della coesione; così avviene dell'acciaio e del ferro mediante l'operazione della tempra, che si fa immergendo il metallo infocato nell'acqua fredda o in altro liquido; del ferro per mezzo dell'unione col carbonio, con che formasi l'acciaio; del rame mescolandolo con altri metalli e principalmente collo stagno, con che si forma la lega conosciuta sotto il nome di bronzo, il quale risulta molto più elastico del rame e dello stagno presi separatamente, e di tutti i metalli battuti a freddo, il che dicesi *incrudire*. Alla lana, al crine, alla piuma si ridona il loro perduto elaterio, col rimoverne le parti, battendo queste materie o cardandole, con che si mette in istato la coesione di agire sulle molecole di quei corpi.

175. All'elasticità noi dobbiamo un gran numero di servigi per comodo della vita e per vantaggio delle arti e dei mestieri. L'elasticità della molle ci preserva dalle scosse e dagli urti che per l'ineguaglianze del suolo si comunicano alle carrozze ed alle vetture in cui viaggiamo. L'agiatezza che si prova percorrendo lunghi cammini dentro cocchi a molle in confronto di quelli che non ne sono forniti, dipende che in questi, per l'inflessibilità delle parti, tutti i movimenti irregolari, gli urti, i rimbalzi prodotti dalle ineguaglianze del terreno, si comunicano interamente alle persone, che vi siedono dentro; mentre le molle piegandosi dividono quelle scosse in tante piccole pressioni, che non riescono moleste al viaggiatore. La morbidezza dei letti e dei sofà su cui riposiamo si deve ripetere dall'elasticità delle sostanze di cui sono composti. Le molle d'acciaio servono per mettere in movimento gli oriuoli da tasca che si adoprano per misurare il tempo. All'elasticità dobbiamo l'esplosione delle armi da fuoco, e per essa il cane d'uno schioppo, spinto da una molla, porta in un istante l'acciarino a percuotere la pietra fo-

caia o la cassula fulminante. La mecanica è piena d'applicazioni tanto interessanti quanto ingegnose della forza elastica dei corpi.

176. Parlando dei vantaggi dell' elasticità, non dobbiamo omettere di far osservare che la morbidezza dei letti, dei sofà, dei materassi e dei guanciali e cuscini, si deve ripetere dall'elasticità delle sostanze di cui sono formati. Se il piano, su cui riposiamo, fosse fatto d'una materia rigida e dura, il nostro corpo appoggerebbe su pochi punti, per essere la superficie di esso fatta di alcune parti prominenti e di molte altre più o meno incavate. Talchè, supponendo che il peso del corpo sia di 60 chilogrammi, e 10 punti rilevati vengano a mettersi a contatto con quel piano duro e resistente, ciascuno di questi punti proverebbe la pressione di 6 chilogrammi, la quale riuscirà molesta, principalmente se dura per qualche tempo. Quando invece il piano, su cui riposiamo, è fatto di materia elastica e cedevole, i 10 punti prominenti del corpo, premendo sul medesimo, s'internano in esso e lasciano che un'infinità di altri punti vengano a dividersi l'intero peso del corpo. In tal maniera i chilogrammi 60 saranno sostenuti da alcune migliaia di punti, ciascuno dei quali proverà una pressione d'una piccolissima frazione di chilogrammo e sì debole da non riuscire molesta alla persona. I materassi e i pagliaricci così detti elastici sono forniti di alcune molle d'acciaio, assicurate inferiormente ad una tavola di legno che loro serve di basamento, e superiormente imbottite di crine, di lana o di stoppa. Quando l'imbottitura non sia abbastanza soffice, poco vantaggio potrebbe portare il materasso a molle pel poco numero di punti che direttamente devono sostenere il corpo che riposa su di essi. Egli è per ciò che quella maniera di costruzione si è applicata soltanto ai pagliaricci sui quali si pone almeno un materasso, onde non riescono incomodi e molesti alle persone, che riposano. L'uso dei pagliaricci elastici riesce di qualche vantaggio, perchè non si ha l'incomodo di rimuovere ogni volta le materie, di cui sono formati i pagliaricci comuni per renderli ancor piani. Essi presentano un vantaggio maggiore quando servono pel trasporto di ammalati, giacchè in questo caso adempiono allo stesso ufficio delle molle applicate alle carrozze.

Secondo i principii esposti si vede il vantaggio che si ottiene dai cuscini e dai materassi riempiuti d'aria; come pure si comprenderà come sia fondato il progetto fatto da taluno, ed in qualche luogo posto in pratica, dei materassi riempiuti d'acqua.

Digitized by Google

CAPITOLO II.

DELLE PROPRIETA' GENERALI DINAMICHE.

177. Le proprietà dinamiche convengono a tutti i corpi di qualunque massa essi siano, ed anche ad un solo atomo di materia indipendentemente dalla situazione delle molecole, e comprendono la proprietà che si è distinta sotto la denominazione di *mobilità*. Il corpo per la sua mobilità subisce o tende a subire dei cambiamenti di luogo, che danno nascimento a parecchi fenomeni. In tutti quei cambiamenti la massa concepisce un moto, il quale varia nelle sue leggi secondo la natura delle forze da cui è prodotto e principalmente secondo il numero delle medesime, avendosi in quest' ultimo caso il *moto semplice* se agisce una sola forza, ed il *moto composto* se parecchie forze ad un tempo. Queste due specie di movimento, desunte dal numero delle forze da cui sono prodotte, danno appunto argomento alle due sezioni, nelle quali si divide il capitolo. Nella prima di esse si fanno inoltre conoscere le diverse forze cause del moto, e il modo con cui si comunica alle differenti masse dei corpi.

SEZIONE I.

Del moto semplice.

178. Movibile è un corpo allorchè, per mezzo d' una qualunque forza, può essere trasportato da un luogo ad un altro dello spazio, e *mobilità* chiamasi l' attitudine dei corpi nel prestarsi alla forza, che tende a far loro subire quel cambiamento di luogo.

L' esperienza giornaliera ci attesta che della mobilità sono dotati tutti i corpi, giacchè vediamo che qualunque di essi con forze più o meno vigorose, secondo la sua massa, può essere rimosso dal suo posto e trasportato in altro luogo dello spazio. I più grandi corpi di questo globo, come i monti, richiedono forze proporzionalmente grandi per essere messi in moto; e se queste forze non sono a nostra disposizione per servircene, possiamo però colle mine fatte per mezzo della polvere da fucile, muoverne una porzione più o meno grande; d'altronde la natura sviluppa nel seno della terra delle forze così poderose da movere parecchi monti ad un tratto, come nei terramoti.

179. La mobilità forma il soggetto della *meccanica dei corpi* e costituisce propriamente il trattato del moto o la *dinamica* della ma-

teria ponderabile. *Il moto poi è il passaggio d'un corpo da uno in altro luogo*, o più propriamente è *lo stato d'un corpo, che viene successivamente trasportato in differenti luoghi dello spazio.*

180. La *quiete* e l'*equilibrio* sono due stati opposti al moto: *la quiete è l'attuale permanenza naturale d'un corpo nello stesso luogo;* mentre l'*equilibrio è l'attuale permanenza del corpo cagionata da parecchie forze, che scambievolmente si elidono.* Il moto forma il soggetto della dinamica dei corpi; la quiete e l'equilibrio al contrario costituiscono quella parte della mecanica, che dicesi statica: per lo che la *statica* e la *dinamica* formano insieme la *mecanica.*

Nella fisica dei corpi ponderabili si tratterà in particolare della mecanica dei diversi corpi; mentre qui daremo le nozioni generali di questa scienza, la quale è *speculativa* o *razionale* e *pratica* od *istrumentale.* La speculativa non ha riguardo a certe proprietà inerenti ai corpi, supponendoli inflessibili, non gravi ecc.; la pratica invece esclude tutte le ipotesi e rinviene nella natura stessa i veri dati della scienza. Nella prima la materia si considera indipendentemente dalle proprietà particolari, delle quali è fornita, secondo la sua natura e secondo il diverso suo stato; ed essa quindi forma il soggetto della fisica generale. Nella seconda si ha riguardo alle diverse classi di corpi ed alle proprietà differenti, di cui sono i medesimi dotati, ed è quindi di pertinenza della fisica particolare. Si è in questa che i principii generali stabiliti si applicano ai casi d'una particolare specie di corpi. Nel presente capitolo si fanno appunto conoscere le verità fondamentali del moto colle nozioni che si riferiscono alla quiete ed all'equilibrio, riserbandosi a considerare la statica e la dinamica separatamente nei trattati particolari dei corpi solidi, dei fluidi liquidi e dei fluidi aeriformi.

Alle distinzioni fatte della mecanica aggiungeremo che quand'essa è professata da coloro, che non sanno dar ragione nè dei suoi principii nè delle sue leggi e conoscono soltanto per pratica la costruzione delle machine e degli apparati che servono al moto ed all'equilibrio; allora essa costituisce una semplice arte. Gli operai, ed i fabbricatori e costruttori di questi congegni e di tutti gli attrezzi attinenti alla pratica esercitano la mecanica per mestiere.

181. Nel moto, prima d'ogni altra cosa, si deve prendere in considerazione la *forza* o *potenza* da cui è prodotto o tende a produrlo; ed il corpo, che deve essere posto in movimento, opponendosi alla forza stessa, prende nei diversi casi il nome di *resistenza, peso* o *massa* da muoversi. Avanti di prendere in esame

Digitized by Google

questi due elementi del moto, importa di far conoscere i diversi accidenti, da cui questo è accompagnato. Questi accidenti sono: 1° lo *spazio* che il corpo o la massa percorre nel suo moto; 2° il *tempo* che impiega a trascorrere questo spazio; 3° la *velocità* con cui il corpo si muove; 4° la *direzione* ch'esso prende nel transitare da un luogo ad un altro; 5° gli *ostacoli* che si oppongono al moto.

182. Lo *spazio* descritto da un corpo è propriamente la lunghezza della strada, per cui esso è passato durante il suo moto, la quale è sempre rappresentata da una linea; e il *tempo* è la durata del moto. La *velocità* poi è un'idea complessa dello spazio e del tempo, cioè per essa il corpo in un dato tempo percorre un certo spazio, ed è *lo spazio percorso da un corpo in un'unità stabilita di tempo*: così si dice che un cavallo va con una velocità di 9 chilometri all'ora, che un uomo cammina con quella di 5 chilometri all'ora; che un proiettile è lanciato con una velocità di 300 metri per secondo.

183. La *direzione* è la linea secondo cui movesi il corpo, non in quanto alla sua lunghezza, la quale, come si è veduto, rappresenta lo spazio, ma in quanto al rivolgersi la linea medesima piuttosto da una parte che dall'altra, a destra o a sinistra, o di proseguire per diritto cammino. Questa linea, potendo essere retta o un'unione di rette, oppure una curva, dà luogo al *moto rettilineo* e *curvilineo*.

184. Gli *ostacoli*, che si oppongono alla massa in movimento, sono principalmente l'*attrito*, la *rigidezza delle funi* quando esse facciano parte degli organi o dei mezzi con cui si produce il moto, e lo *scontro di materia ponderabile*, la quale intercetta al corpo la via e gl'impedisce il suo libero movimento. Per ora non terremo conto di questi ostacoli, ma nella fisica particolare si daranno le norme per valutarli nei diversi casi e nelle diverse classi di corpi.

185. La materia presenta alla nostra osservazione giornaliera continui cambiamenti, interminabili trasformazioni e maniere d'agire moltissime e varie. Nella moltiplicità dei corpi vediamo distruzione e creazione di cose, azione e reazione, la vita succedersi alla morte e questa a quella. Tanta varietà di fenomeni non si deve ripetere che da quel movimento, il quale accompagna inseparabilmente la materia e rende stabile e permanente la gioventù della natura. Questo moto, questa vita, diremo, cui è di continuo soggetta la materia, ci porta a riconoscere nella natura l'esistenza di forze capaci a produrlo.

Digitized by Google

Ma che sono queste forze? L'osservazione ha finora taciuto, perchè non può rispondere adequatamente a tale domanda. Si hanno per dinotare tali agenti soltanto semplici nomi, destinati però a presentare con fedeltà i risultamenti ed a prepararne una spiegazione soddisfacente. Se si diano poi una o più forze come cause istigatrici della materia e come regolatrici delle operazioni moltiplici e svariate della natura, nulla sappiamo di positivo. La gravità e le altre forze di questa specie, l'attrazione elettrica e magnetica, gli agenti della luce e del calore, l'eccitabilità ecc. non sono forse che un'unica ed identica forza, nella quale, secondo opinavano gli antichi, risiederebbe l'anima dell'universo sensibile, cioè l'*anima mondiale*.

Il nome di forza è stato dapprima introdotto per esprimere la facoltà organica del corpo degli animali viventi, in virtù della quale questi possono muoversi, fermarsi e spingere al moto eziandio e ridurre alla quiete gli oggetti circostanti. Essendosi poscia osservato che si davano agenti fisici e meccanici capaci pure di sollecitare al moto i corpi o di ridurli alla quiete, si è supposto in questi agenti un principio od una causa che avesse qualche rassomiglianza colla facoltà del corpo animale vivente, e per analogia si è del pari dato ad un tal principio la denominazione di forza. Ma col nome non si è fatto altro che indicare le cause motrici senza conoscerne la natura. Nell'ignoranza in cui siamo intorno alle medesime, si è cercato di valutarle dai loro effetti; cioè dalla velocità che tendono ad imprimere nei corpi e dalla massa o dalla quantità di materia cui comunicano una tale velocità. Per confrontare poi le valutazioni delle diverse forze fra loro, se ne sono stimati gli effetti riducendoli tutti al peso o alla gravità, la quale riesce per tal modo l'unità dinamica, cui si riferiscono i valori di tutte le forze. Le forze quindi degli animali, dell'elasticità delle molle, dell'espansibilità dei vapori, della percossa dei fluidi e dei solidi, ed in generale tutte le potenze, che tendono a generare moto in un corpo od effettivamente lo producono, si confrontano fra loro valutandole colla gravità o col peso. In tal modo tutte le forze, sebbene fra loro eterogenee, vengono ad avere per misura comune il peso, il quale potendosi esprimere, in un allo spazio ed al tempo, in numeri ed in linee, la scienza del moto diventa un soggetto matematico, cui può essere applicato lo strumento del calcolo. Verremo così a determinare le leggi del moto e delle proprietà dinamiche dei corpi, le quali leggi sono le verità realmente utili e del maggior interesse per l'uso e l'avanzamento della scienza (§ 34);

per nulla affaticandoci a speculare sulla natura delle forze e sulla ricerca delle cause finali, perchè queste sono forse inaccessibili all'umano intendimento e rimarranno all'uomo sempre sconosciute. Da queste considerazioni generali si deduce, quanto si è altrove asserito (§. 181), che *per forza intendesi quella causa qualunque che produce moto nei corpi se sono in quiete, e gli arresta se sono già in movimento.*

Fra le principali forze che si presentano nell'universo sensibile ed agiscono in diverse maniere sulla materia, si annoverano le seguenti: 1° la *forza muscolare* od animale che risiede negli esseri animati; 2° la *forza d'attrazione* d'ogni specie (§. 71) che è l'instigatrice principale di tutti i corpi inorganici; 3° la *forza dell'urto e della percossa*, che è manifesta in un corpo già in moto quando si scontra con un altro; 4° la *forza di elasticità*, che si sviluppa in differenti maniere nei corpi (§ 169) e prende talvolta il nome d'*espansibilità* e di *tensione* (§ 172); 5° la *forza elettrica e magnetica* prodotta da un fluido imponderabile sparso in tutta la natura; 6° la *forza della luce*, quantunque non di vantaggio immediato nella mecanica usuale, esercita però un potere sulla materia ponderabile, influendo sulla produzione di certi movimenti e di certe combinazioni degli elementi dei corpi. Alcune di queste forze sono *immediate*, cioè hanno un'origine propria nella natura; altre sono *mediate*, cioè esistono in quanto vennero generate da altre forze della prima specie; così la *forza muscolare* e la *forza elettrica* sono immediate; mentre la *forza di percossa e di elasticità* sono mediate. Imperciocchè quest'ultime non esistono e non si spiegano se non coll'aiuto o l'azione d'un'altra forza. Tutte queste forze hanno per effetto la produzione del movimento nei corpi, o la estinzione e la diminuzione dello stesso moto in quei corpi, che ne sono già forniti. Di alcune di esse si è già parlato, delle altre si parlerà a suo tempo; ciò che qui interessa è di rintracciare le leggi dell'equilibrio e del movimento prodotti dalle forze, ossia di stabilire i principii generali della statica e della dinamica della materia.

186. La forza può essere *istantanea* e *continuata*: nel primo caso essa agisce un sol momento sul corpo, che mette in moto; nel secondo lo incalza ed opera sul medesimo quantunque si muova di già. La prima nella mecanica razionale si appella *forza impressa*; giacchè comunica al corpo l'attitudine o la causa per cui si mantiene il moto. La seconda, che continuamente sospinge il corpo, prende anche la denominazione di *forza motrice*. Questa può essere *costante o variabile*, secondo che opera sempre con eguale o con disuguale

azione sul corpo in movimento. In tal modo si ha la *forza motrice costante* o *forza continuata costante*, la *forza motrice variabile* o *forza continuata variabile*. Queste potenze motrici possono essere sempre pronte a svilupparsi per produrre il moto ne' corpi, ed allora esse prendono il nome di *forze vive*; che se esse per qualche circostanza non sono capaci a spiegare la loro energia e a produrne i relativi effetti, in tal caso si ha la *forza morta*. Le forze motrici prendono in qualche altra circostanza la denominazione di *forze viventi*, se esse sono prodotte dagli esseri animati, e *forze inanimate* se esse dipendono dai corpi inorganici.

187. Consideriamo ora in generale la *forza* relativamente al corpo o alla massa da muoversi, che in alcuni casi si chiama anche *resistenza* (§. 181). L'esperienza e la ragione ci dimostrano che, quando si deve mettere in moto un corpo, cioè imprimere una data velocità in tutte le sue molecole o in tutta la sua massa, si richiede una forza maggiore quanto più la massa è grande; anzi se la massa è doppia, tripla, quadrupla ecc., si richiederà per dare alla medesima l'eguale velocità di prima una forza doppia, tripla, quadrupla ecc., essendo doppio, triplo, quadruplo ecc. il numero delle molecole cui la forza deve comunicare quel moto; e ciò per la ragione che *la causa deve sempre essere proporzionale all'effetto* che produce. Parimenti, se agisce sempre la medesima forza e la massa si riduce successivamente alla metà, al terzo, al quarto ecc., questa massa acquisterà successivamente una velocità doppia, tripla, quadrupla ecc. Si vede dunque che le grandi masse sono più difficili ad essere mosse dalle piccole, e che la resistenza opposta dalle medesime per ricevere il moto è precisamente proporzionale alla forza. L'opposizione, che bisogna vincere per mettere il corpo in movimento, è appunto ciò che si chiama *inerzia* Siccome poi una tale resistenza equilibra una potenza, così l'inerzia si suole considerare da alcuni come una forza, che si denomina quindi *forza d'inerzia*.

Ritorneremo più avanti sull'inerzia; intanto giova qui notare come essa sia la vera misura della massa. Si è detto che la massa è la somma di tutte le molecole materiali di cui è costituito il corpo (§. 40). Siccome poi di queste molecole non si conosce nè il numero, nè la quantità di materia di ciascuna di esse; così si è più avanti aggiunto che la massa si misura dal suo peso (§. 124). Si è fatto però allora osservare che, se la gravità non imprimesse egual velocità ai corpi cadenti formati di diverse materie, la sua azione non sarebbe più proporzionale alla massa di diversi corpi, e per conseguenza i pesi

non potrebbero rappresentare le masse. La proporzionalità dei pesi alle masse è dunque una conseguenza dell'egual velocità riscontrata nella caduta dei corpi (§. 123). Imperciocchè per l'inerzia diversi corpi non potrebbero cadere verso il centro della terra coll'eguale velocità senza che *le loro masse fossero proporzionali ai pesi rispettivi*, che rappresentano le singole forze di gravità. I pesi quindi di due differenti corpi fanno conoscere il rapporto delle masse dei corpi medesimi.

188. Avanti di occuparci delle leggi del movimento, dobbiamo qui far conoscere i mezzi adoprati per la misura della forza muscolare; giacchè di tutte le forze annoverate (§. 185) ci resta qui soltanto a dire di questa, essendosi di alcune già altrove parlato e delle altre si parlerà nel corso di questi Elementi allorquando si tratterà degli agenti da cui sono prodotte.

La forza muscolare varia nelle diverse specie d'animali ed anche nei singoli individui di ciascuna specie. Questa variazione, dipendente dalla costituzione fisica e dall'organismo dell'animale, può essere prodotta eziandio dalla particolare destrezza acquistata coll'abitudine e coll'esercizio, come pure dalla qualità del lavoro e dalla prestezza con cui viene eseguito. Infatti alcuni muscoli agiscono con vigore differente nei diversi atteggiamenti dell'animale, che fatica e lavora; in alcune azioni inoltre è d'aiuto, in altre è d'aggravio il peso del proprio corpo; così diversa riesce la forza dell'uomo nel portare da quella nel tirare e nel sospingere orizzontalmente e verticalmente. Per rispetto al variare secondo la durata del lavoro e della velocità con cui viene eseguito, si trova che la forza dell'animale è massima quando sta fermo, s'infievolisce sempre più allorchè camminando aumenta in velocità, finchè questa giunge ad un certo grado che lo rende incapace ad ogni sforzo.

189. La forza degli animali si suole distinguere in *assoluta* e *permanente*. Nella forza assoluta l'individuo esercita uno sforzo per pochi istanti di tempo; in quella permanente egli regge ad un lavoro continuato uniformemente per un dato tempo o per parecchi giorni senza deteriorare la sua salute e senza recar danno alla sua costituzione fisica. Questa distinzione è analoga a quella stabilita per le forze in generale (§. 186). Aggiungeremo inoltre che per le forze animali la prima dà per effetto il *momento statico*, la seconda il *momento dinamico*.

L'uomo è sussidiato nei suoi lavori dal rangifero nelle regioni settentrionali; dal cavallo, dal bue, dall'asino, dal mulo, dal bufalo

nelle zone temperate; dalla zebra, dall'elefante, dal cammelo, dal dromedario nei climi caldi. Noi esamineremo la forza degli animali, che più comunemente si adoperano fra noi nei lavori mecanici.

190. La forza assoluta degli animali si misura con uno strumento, che si chiama *dinamometro*; nome tratto dalla parlatura greca che significa appunto *misuratore delle forze*. Se ne costruiscono di diverse maniere, e sono fondati sull'elasticità dell'acciaio, il quale, quando è ben temprato, conserva il suo elaterio anche col continuo uso (§. 169). Per riconoscere se la molla è fatta d'acciaio ben temprato e propria alla costruzione del dinamometro, bisognerà sottoporla dapprima al cimento per accertarsi ch'essa riprende la primitiva forma e non conserva permanentemente parte della piegatura.

Il *dinamometro a molla spirale* è rappresentato nella figura 20. Esso si compone della molla AB assicurata alla base o staffa PQ d'un tubo metallico EF. L'estremità superiore A della molla è congiunta con una verga quadrangolare AC terminata superiormente in un manubrio D. Comprimendo o stirando la molla col mezzo del manubrio, essa si raccorcia o si allunga e la verga si move entro un foro quadrangolare delle stesse dimensioni di essa.

Quando nessuna forza agisce sulla molla, il piano della lamina, in cui è praticato il foro, collima con una linea trasversale scolpita sulla verga BC, dove ha incominciamento la scala dello strumento ed è indicato dallo zero. Premendo la molla con pesi sempre crescenti di un chilogrammo, essa si raccorcia sempre più, e la verga internandosi nel tubo presenta successivamente al piano indice nuove linee trasversali, che si segnano coi numeri 1, 2, 3, 4 ecc., ed indicano altrettanti chilogrammi. Stirando invece la verga con pesi successivamente crescenti di un chilogrammo, si ottiene la scala interna per le forze di trazione, mentre la prima serve per le forze di pressione.

Volendo misurare la forza d'una persona nel sollevare pesi, essa applica i piedi sulle parti sporgenti della staffa dello strumento e stira colle mani, applicate al manubrio, la molla. Per misurare la forza di trazione, si assicura la staffa ad un oggetto stabile, e si attacca l'animale con una fune al manubrio tirando orizzontalmente. Questo dinamometro serve per la misura di forze non molto grandi, giacchè la molla, per la sua forma, non si presta così facilmente agli allungamenti e raccorciamenti senza pericolo di rottura.

191. Un altro apparecchio consimile, capace di reggere a forze di trazione più energiche di quelle cui si presta il precedente, è il *dinamometro a molla circolare* rappresentato nella fig. 21. Esso si

compone d'un anello PQ, su cui si segna la scala, e d'una molla ABC d'acciajo attaccata saldamente per un'appendice D all'anello. Un'altra appendice E è congiunta colla stessa estremità della molla e disposta secondo il diametro dell'anello. Questa seconda appendice porta nel mezzo d'una scanalatura un rocchetto dentato, il cui asse corrisponde al centro dell'anello. L'altra estremità A della molla è fornita pure d'un'appendice F fatta di due lamine elastiche e conformata a cuneo. Un lato di questo cuneo si appoggia contro la traversa G, l'altro lato è una verga dentata, che corrisponde alla scanalatura dell'appendice E superiore, ed imbocca coi suoi denti con quelli del rocchetto. Un anelletto Q serve per attaccare lo strumento ad un punto fisso o ad un oggetto qualunque; il gancio P, diametralmente opposto e in congiunzione all' appendice della molla, si presta per appendervi dei pesi o per unirlo alla forza traente. La lancetta H connessa all'asse del rocchetto serve d'indice.

Stirando nella direzione PQ, la molla si distende e l'appendice F si allontana dal centro unitamente alla verga dentata di cui è formata. In questo allontanamento la verga fa girare il rocchetto e l'arco che questo descrive è segnato dall'indice H sul piano dell'anello, graduato con pesi successivamente crescenti d'un chilogrammo.

Questo dinamometro serve soltanto per le forze di trazione, ma per tal uso può resistere a sforzi molto maggiori del dinamometro precedente a molla spirale.

192. Lo strumento più proprio, per la misura della forza muscolata nei diversi casi, è il *dinamometro a molla elittica* inventato da Régnier. Questo dinamometro si compone d'una molla ABCD (fig. 22) della forma, che si approssima all'elisse. Su questa molla si può agire in due differenti maniere per maggiormente schiacciarla e raccorciare il suo asse minore, cioè comprimendola nella direzione di quest'asse; con che si ottiene la misura di mediocri forze prementi; stirandola nel verso dell'asse maggiore AB, e serve in questo modo alla valutazione di grandi forze. In ambidue i casi succede un accorciamento dell'asse minore della molla, e da questi accorciamenti si deduce lo sforzo impiegato a produrli.

All'estremità D dell'asse minore è connesso il braccio DE*b* della leva angolare DE*b*HG, la quale è girevole intorno al perno H infisso nella lamina d'ottone MNN tagliata a quadrante ed assicurata all'altro lato della molla. Il braccio libero HG, nel moversi per lo schiacciamento della molla, sospinge un indice OF girevole intorno al centro O e scorrevole sul quadrante NN. L'indice nello scorrere

sul quadrante segna di quanto è stato accorciato l'asse minore della molla e quindi il grado di forza necessario a produrre quell'effetto.

Sul lembo del quadrante NN è incisa una doppia scala: quella verso la parte esterna ha le divisioni, che esprimono altrettanti chilogrammi, e misura le forze prementi nella direzione dell'asse minore; la seconda è posta verso l'interno del lembo ed ogni grado dinota un rubbo o miriagrammo, e misura la forza, colla quale si stira la molla nella direzione dell'asse maggiore AB.

L'istrumento si gradua per la prima scala collocandolo coll'asse minore verticale ed appoggiandolo saldamente sopra due sostegni vicino al vertice dell'asse medesimo e col quadrante rivolto al basso. Due robusti ganci di ferro abbracciano l'altro lato della molla vicino a D situato verso l'alto. Ai ganci pendenti si attacca un chilogrammo compreso il loro peso, e si segna la posizione che prende l'indice OF; si aggiunge successivamente un chilogrammo segnando ogni volta il sito dove si trova l'indice medesimo. I gradi in tal modo segnati esprimono, come è chiaro, altrettanti chilogrammi. La seconda divisione si pratica con un metodo somigliante: si sospende il dinamometro per un'estremità A dell'asse maggiore, che prenderà la posizione verticale, e si aggrava per l'altra estremità B di pesi successivamente crescenti di 10 in 10 chilogrammi: l'indice in queste cariche passerà per diversi punti del quadrante, i quali determinano la scala in rubbi metrici per le forze di trazione.

Nella figura si è lasciato scoperto il consegno della leva dello strumento per meglio farne comprendere la costruzione; ma ad esso è sovrapposta e tenuta con viti una lamina eguale alla MNN. Sul lembo circolare di questa seconda lamina, posto vicino al centro dell'indice OF, vi sono segnati i gradi di cerchio, che notano il movimento angolare dell'indice medesimo.

193. Col dinamometro elittico si determina facilmente la forza muscolare d'una persona nello stringere colle mani. A tal fine l'individuo prende lo strumento colle due mani applicate da una parte e dall'altra dell'asse minore, e lo stringe con esse esercitando una compressione sulla molla. Affinchè questa non produca una molesta sensazione sulle mani, è foderata di cuojo lungo i suoi lati. La posizione più propria per esercitare il maggiore sforzo in questo cimento, si è quella di tenere sporgenti ed inclinate le braccia all'orizzonte sotto un angolo semiretto. Per avere la giusta misura della forza muscolare delle mani, si deve stringere gradatamente e non con urti e spinte esercitate sulla molla.

Digitized by Google

Esperimentando in tal maniera si è trovata la misura media dell'uomo nello stringere colle mani di 50 chilogrammi, e la destra d'ordinario spiega maggior forza della sinistra. Quando l'uomo ha fatto alcune prove di simil genere o si è affaticato in qualche altro lavoro, presenta, nella forza muscolare delle mani, un risultato minore di quello che otterrebbe quando si cimenta dopo un riposo più o meno lungo. La forza assoluta della donna in simili casi si valuta in misura media i 2|3 di quella dell'uomo, ossia di 33 in 34 chilogrammi.

194. Quando si tratta della forza d'una persona nel sollevare pesi, vi ha unito al dinamometro un attrezzo formato di due grosse bande di ferro connesse fra loro a doppia squadra. La persona pone i piedi sopra i due lati della banda collocata orizzontalmente sul suolo, mentre l'altra verticale è munita d'intagli uncinati, ad uno dei quali si attacca la molla per un'estremità dell'asse maggiore. L'altra estremità si congiunge con un robusto gancio fornito di manovella, cui la persona applica le mani e stira la molla come se dovesse innalzare un peso. Vanno altresì uniti all'apparato due robusti snelli di ferro, che si possono convenientemente aprire ed applicare al dinamometro. Essi nel nostro caso servono per allungare più o meno la linea, secondo la quale si stira la molla, a norma della diversa statura della persona. Nell'esercitare questo sforzo v'ha pure una posizione del corpo della persona la più vantaggiosa per ottenere l'effetto. L'attitudine si è di tenersi col corpo diritto e verticale portando soltanto le spalle un poco all'infuori. La misura media della forza dell'uomo nel sollevare pesi, sperimentata in tal maniera, si è trovata di chilogrammi 130; cioè in tal caso la forza dell'uomo risulterebbe di circa il doppio del peso del proprio corpo. La forza assoluta della donna si è trovata anche qui di 2|3 di quella dell'uomo, cioè di 86 in 87 chilogrammi.

195. Per esperimentare col dinamometro la forza assoluta dell'uomo nel portare pesi sugli omeri o sul dorso, è necessario una tracolla di cuojo o di un tessuto ben resistente, colle estremità della quale sono congiunte due funi munite di ganci, con cui si attacca all'estremità dell'asse maggiore dello strumento. Per l'altra estremità il dinamometro è attaccato alla parte uncinata della doppia squadra, tenuta aderente al suolo coi piedi. Regolando la lunghezza della tracolla in modo che l'uomo innalzando le spalle stiri la molla, si esercita su questa uno sforzo, che è misurato dalla seconda scala ed esprime il peso ch'egli innalzerebbe. Sperimen-

Digitized by Google

tando in tal maniera si è trovato per misura media, della forza dell'uomo nel portare pesi, 150 chilogrammi, e per quella della donna 100 chilogrammi o i 2|3 della forza dell'uomo.

Osserviamo qui che la forza d'una persona, nel tirare verticalmente dall'alto al basso, può eguagliare al più il peso del proprio corpo; e l'individuo si affaticherebbe inutilmente se cercasse di tirare un peso maggiore di quello del suo corpo, quando non avesse dei punti fissi cui attaccarsi.

196. Per esperimentare la forza dell'uomo o di qualunque altro animale nel tirare orizzontalmente, in quella posizione stessa con cui si traggono carri o barche, si adopera pure il dinamometro attaccato per un'estremità dell'asse maggiore alla resistenza da moversi o ad un punto fisso, ed applicando all'altra la forza dell'animale col mezzo d'una fune ad armacollo. Il momento statico medio dell'uomo si valuta, in termine medio, di 50 chilogrammi. In generale si è trovato che lo sforzo esercitato dall'uomo in tal modo riesce maggiore di quando tira colle mani.

Nelle diverse persone la forza assoluta varia moltissimo sì nello stringere colle mani come nel sollevare pesi verticalmente. Ciò proviene dalla muscolatura, la quale è più o meno robusta in alcuni che in altri individui; come pure dalla costituzione fisica, dal metodo di vita e dall'educazione della persona; tutte circostanze in cui la forza muscolare prende diversi gradi, riuscendo robusta ed energica in alcune, fievole e lassa in altre. Nell'azione orizzontale invece la forza è circonscritta fra limiti assai ristretti, concorrendo nell'esercizio di questa più il peso del corpo dell'individuo che la sua muscolatura. Ed è per ciò che la forza degli uomini i più vigorosi non eccede nel tiro orizzontale guari i chilogrammi 60, e che la donna nel tirare pure orizzontalmente ha una forza media la quale è di poco al di sotto di quella dell'uomo.

197. Le bestie, che fra noi sussidiano l'uomo nei lavori meccanici tirando o portando pesi, si sono pure sottoposte all'esperienza. Esplorata col dinamometro la forza assoluta di diversi cavalli di mezzana taglia nel tirare orizzontalmente, si è trovato per valore medio 350 chilogrammi; cioè il momento statico del cavallo eguaglia sette volte quello dell'uomo.

La forza assoluta del bue nel tirare pure orizzontalmente si valuta da alcuni doppia di quella del cavallo. In questa specie di animali però si trova una grande differenza, essendovene di quelli che non hanno una forza assoluta eguale a quella di un medio-

cre cavallo, mentre altri superano lo sforzo, che possono esercitare due cavalli ben anche robusti. Lo stesso si dica della forza dell'asino, che si valuta da alcuni doppia di quella dell'uomo. Imperocchè la razza degli asini è molto varia, essendovene di quelli di taglia assai piccola ed altri di taglia piuttosto grande da eguagliare il cavallo. Per la varietà della specie asinina non si può stabilire un valore medio della forza di quegli animali nel tirare, essendo essi più proprii come bestie da soma. Egualmente si può dire del mulo, il quale d'ordinario è destinato agli stessi uffizii dell'asino.

Il cavallo ed il bue nel portare pesi non sono dotati di una forza nell'egual rapporto con quella dell'uomo come nel tirare. Nè il cavallo potrebbe reggere ad un carico settuplo di quello che porta l'uomo, ed il bue ad un carico quattordici volte il peso portato dall'uomo medesimo. Il cavallo è spesso adoperato come bestia da soma nel cavalcare, ed il momento statico medio può essere valutato di 400 chilogrammi.

198. Allorchè si tratta di un lavoro continuato, non vale la misura stabilita per uno sforzo momentaneo, con che si conosce la forza assoluta; ma in questi casi si valuta la forza, osservando *la quantità di peso* trasportato o sollevato, *lo spazio* percorso ed *il tempo* impiegato a trascorrerlo. Secondo alcuni meccanici il peso portato in un lavoro continuato può ritenersi equivalente ad 1|3 di quello del momentaneo. Componendo assieme i dati in tal modo ottenuti, si determina il *momento dinamico* dell'uomo e degli altri animali (§ 189). Si suole ridurre lo spazio ed il tempo all'unità, la quale è pel primo d'ordinario un chilometro e pel secondo una giornata di lavoro. Si noti però che la giornata comune di lavoro è una parte delle 24 ore di cui è composto l'intero giorno, e per l'uomo si calcola di 8 in 9 ore, ossia 1|3 circa dell'intero giorno, essendo gli altri 2|3 impiegati a riparare la perdita delle forze prodotta dal lavoro o col sussidio dell'alimento e della bevanda, o per mezzo del sonno o del semplice riposo quando è svegliato. *Il momento dinamico quindi è espresso dal peso portato in una giornata di lavoro alla distanza di un chilometro.*

Questo momento dinamico costituisce un'unità convenzionale di misura non solo per le forze permanenti, ma ben anche per tutte le altre che si adoperano nei lavori meccanici. Una tale unità è stata diversamente stabilita secondo gli autori, che hanno trattato della

meccanica usuale (1). Come il lavoro continuato dipenda dai tre elementi suaccennati, e come il momento dinamico sia stabilito combinando assieme questi elementi, si comprenderà facilmente allorquando vedremo in seguito che *la forza eguaglia il peso moltiplicato per lo spazio diviso pel tempo*. Questo valore poi è composto d'una frazione il cui numeratore è formato di due fattori, e si può dividere l'uno dei fattori per se medesimo ingrandendo l'altro d'altrettanto, come pure dividere il denominatore e praticare la stessa operazione sul numeratore; e tutto ciò, per le proprietà delle frazioni, senza alterare il valore dell'espressione. Si renderà chiara la maniera di fare questa riduzione da quanto siamo per esporre.

199. Il lavoro più semplice, che possa fare l'uomo, è il cammino, non portando con sè altro peso che quello del proprio corpo. Un uomo che cammina con passo moderato percorre in un'ora 6000 metri proseguendo una lunga strada, ciò che dà 100 metri per ogni minuto. La lunghezza del passo compiuto comune di cammino si può valutare di metri 0,8, talchè un pedone fa 125 passi in un minuto e 7500 in un'ora. In questo modo egli può camminare ore 8 1/2 per giorno e continuare un tal cammino senza deteriorare la sua salute e diminuire le sue forze. Ne risulta dunque che 51 chilometri è la distanza media che può essere percorsa a piedi da un uomo in una giornata. Il peso d'un uomo di mezzana statura unitamente ai proprii abiti è di 70 chilogrammi; talchè un pedone viaggiando trasporta ogni giorno 70 chilogrammi a 51 chilometri di distanza, o ciò che torna lo stesso, 3570 chilogrammi alla distanza di un solo chilometro. Il numero 3570 esprimerebbe qui il suo momento dinamico.

Tutti gli uomini non sono egualmente buoni camminatori: gli abitanti della campagna e quelli delle grandi città sono generalmente più atti al cammino, perchè essi hanno a percorrere le distanze più lunghe. L'abitudine e l'esercizio contribuiscono moltissimo a formare dei buoni camminatori. I Romani, che facevano della guerra la loro principale occupazione, avevano ben compreso che, per divenire i dominatori del mondo, bisognava dare ai soldati una forza ed una velocità superiore a quella della milizia delle altre nazioni. In tal maniera essi pervennero a risultati, che oggidì ci sembrano appena

(1) Per le differenti maniere con cui si è stabilita l'unità per la misura delle forze permanenti o di qualunque lavoro meccanico, può consultarsi la mia *Fisica popolare*, tom. I, pag. 397.

credibili. Ma ciò che interessa nella mecanica si è d'aver una norma per valutare il peso che in una giornata di lavoro l'uomo può portare ad una data distanza, cioè di conoscere *l'effetto utile* della forza permanente dell'uomo, come di qualunque altro animale da cui è sussidiato nei suoi lavori.

200. Per rinvenire l'effetto utile, prodotto dalla forza permanente dell'uomo e degli animali, è mestieri ricorrere all'osservazione ed all'esperienza. Coulomb (1) si è occupato a determinare il momento dinamico dell'uomo, mentre Brunacci (2) Schulze (3) e parecchi altri hanno cercato principalmente di determinare l'effetto utile degli animali, osservando il lavoro che parecchi individui possono fare in comune, e talvolta sottoponendoli direttamente alla prova. Per avere dei risultati soddisfacenti, principalmente per l'uomo, è meglio attenersi all' osservazione piuttosto che all'esperienza. Imperocchè l'uomo può per breve tempo sostenere anche uno sforzo straordinario per eseguire un dato lavoro, e non lascia mai di farlo allorchè si accorge che si vuol far prova della sua forza.

Coulomb ha osservato che alcuni facchini, nel trasportare certe robe alla distanza di 2 chilometri, non potevano fare più di 6 viaggi al giorno col carico di 58 chilogrammi, ritornando ogni volta a prendere un egual carico. Ogni facchino dunque ha portato, nell'andata, sei volte 58 chilogrammi alla distanza di 2 chilometri o 696 chilogrammi alla distanza d'un solo chilometro in una giornata di lavoro. L'effetto utile del facchino è quindi espresso da 696. Egli ha inoltre trasportato il peso del proprio corpo, o 70 chilogrammi alla distanza di 2 chilometri per 12 viaggi consecutivi, cioè tanto nell'andata quanto nel ritorno, vale a dire 840 chilogrammi alla distanza di 2 chilometri, oppure 1680 chilogrammi alla distanza d'un solo chilometro. L'effetto totale del facchino risulta dunque espresso da 2376 chilogrammi alla distanza d'un chilometro.

201. Lo stesso Coulomb ha interrogato più d'uno di quei merciajuoli che girano pei paesi per vendere agli abitanti dei villaggi e della campagna dei piccoli oggetti d'ornamento ad uso comune, ed ha trovato che in una giornata uno di essi porta 44 chilogrammi a 20 chilometri di distanza, vale a dire 880 chilogrammi alla distanza

(1) Vedi le Memorie dell'*Institut national* de France, tom. II.

(2) Vedi *Giornale di fisica, chimica* ecc., di L. Brugnatelli, tom. X, 1817, pag. 206.

(3) *Atti dell'Accademia* di Berlino, dell'anno 1783.

di un chilometro. Se anche qui si aggiunga all'effetto utile il prodotto del peso del proprio corpo per lo spazio percorso dal merciajuolo, si ha per effettto totale 2280.

202. Dall'opera di Vegezio sulla milizia dei Romani, si ricava che il soldato, durante i suoi esercizi, percorreva abitualmente 30 in 36 chilometri in cinque ore di tempo col peso di circa 29 chilogrammi, ciò che dava nel primo caso un'azione utile di 870 chilogrammi trasportati alla distanza d'un chilometro, e nel secondo chilogrammi 1044 trasportati pure alla stessa distanza. Aggiungendo all'effetto utile l'azione della forza del soldato nel trasporto del proprio corpo che riterremo di 70 chilogrammi e che dà nei due casi rispettivamente chilogrammi 2100 e 2520, si avrà per l'effetto totale del soldato romano chilogrammi 2970 e 3564.

203. Riassumendo i risultati ottenuti nei quattro precedenti paragrafi, avremo l'effetto utile ed il totale in ciascun caso, espressi in chilogrammi portati alla distanza d'un chilometro in una giornata di lavoro, esposti nel seguente quadro:

	EFFETTO	
	Utile.	*Totale.*
1° Per un uomo che cammina senza alcun carico	»	3570
2° Per un soldato romano col carico di 29 chilogrammi	870 1044	2970 3564
3° Per un facchino che cammina ora col peso di 58 chilogrammi, ora senza carico.	696	2376
4° Per un merciajuolo che cammina sempre carico di 44 chilogrammi	880	2280

Confrontando il primo con ciascuno degli altri risultati si vede che la quantità totale d'azione della forza dell'uomo diminuisce col caricarlo. Questa quantità totale giornaliera è dunque ben lungi dal restar costante, come opinava Giovanni Bernoulli. Dal paragone poi degli effetti utili nei tre ultimi casi, si deduce che il lavoro riesce maggiore, allorchè l'uomo, trasportando un minor peso, cammina seguitamente senza alternative di scaricare e ricaricare e senza l'interrompimento di ritorni a vuoto; inoltre si apprende la grande velocità del soldato romano nelle sue marce, giacchè esso produce un effetto totale maggiore di quello del facchino e del merciajuolo, quantunque meno carico di essi. Da questo si comprende eziandio l'importanza di conoscere il rapporto più conveniente fra il carico e

il cammino fatto per avere l'effetto utile massimo. Le indagini su questo argomento offrono un grande interesse nei lavori mecanici; ed è mestieri che i sovrintendenti alle manifatture, i direttori di costruzione di strade, di fabbriche e simili, i capi artisti devono soprattutto studiare bene le circostanze atte a produrre un dato effetto colla minima forza e determinare il rapporto su mentovato per ottenere il massimo effetto utile. Coulomb dalle sue osservazioni deduce il principio seguente: *Prendendo per base la quantità d'azione prodotta dal cammino d'un uomo senza alcun carico, i pesi di cui esso è caricato sono proporzionali alla quantità d'azione perduta, lorquando cammina trasportando questi pesi.* Egli poi stabilisce pel carico della più grande quantità d'azione giornaliera chilogrammi 50,4. Con questo carico egli percorre un poco più di 18 chilometri, e l'effetto utile massimo in una giornata eguaglia 919 chilogrammi trasportati alla distanza di un chilometro. Questo risultato non è molto differente da quello, al quale la semplice pratica hanno condotto i merciaiuoli.

204. Prendendo la media dell'effetto utile dei lavori contemplati nei precedenti casi, si ha pel momento dinamico dell'uomo un'espressione molto più grande di quella che si riscontra in parecchi operai che lavorano in comune nei trasporti di terra e di altri materiali per le ordinarie costruzioni. Noi abbiamo riportati quei risultamenti per mostrare in qual caso si ottiene il massimo effetto totale, e quale debba essere la carica in rapporto col cammine fatto in una giornata di lavoro per conseguire il maggior effetto utile. Gli operai, incaricati al trasporto nelle ordinarie costruzioni, non hanno verun stimolo d'interesse, nè vaghezza di accelerare il lavoro per mostrare altrui la loro robustezza; anzi, per essere pagati a giornata, tendono a prolungare il trasporto. Egli è perciò che agli operai, che in tal caso lavorano in comune, si attribuisce in termine medio per momento dinamico 150 in 200 chilogrammi trasportati alla distanza d'un chilometro in una giornata di lavoro.

205. Si è anche determinata la quantità d'azione d'un uomo carico e non carico, che percorre una strada acclive o s'innalza per una scala. Noi daremo, per questi casi, soltanto i risultati espressi già nell'unità stabilita pel momento dinamico (1). Una persona, che sale

(1) Chi bramasse di conoscere i dati di questi lavori e come si deduca in ogni caso il momento dinamico, può consultare la mia *Fisica popolare*, tom. I, dalla pag. 399 alla pag. 413.

per le scale d'un edifizio portando soltanto il peso del proprio corpo ha per momento dinamico 235, 2. Un operaio invece portando delle legna per una comoda scala produce un effetto utile di chilogrammi 53,836 portati all'altezza d'un chilometro in una giornata di lavoro, e per effetto totale chilogrammi 164, 736. Si scorge qui che, al pari per la via orizzontale (§ 203), il momento dinamico totale diminuisce quando l'operaio si eleva carico di qualche peso. L'effetto utile inoltre per una via acclive essendo di 53,836 riesce molto minore di quello per una via orizzontale. Ma anche in questo caso gli operai che lavorano in comune nei trasporti delle ordinarie costruzioni hanno, come per una via orizzontale (§ 204), un momento dinamico medio minore di quelli qui riferiti, il quale varia secondo il grado di acclività della strada. Se l'operaio fa uso di qualche machina, come la carriuola, produce un effetto utile maggiore. Daremo il risultato delle osservazioni fatte in questo caso come in parecchi altri in una Tavola, nella quale sono esposti i momenti dinamici dell'uomo e degli animali nei diversi lavori mecanici.

206. Fra le bestie che sussidiano l'uomo nei nostri paesi, il cavallo va posto in prima linea per la sua attitudine a muoversi con velocità molto differenti, incominciando dal più lento passo ed andando al trotto ed al gran galoppo, ed a far giornalmente dei lunghi viaggi. Un cavallo corre con grandissima velocità quando faccia 10 metri per secondo, ossia 600 metri per minuto primo; e si reputa tanto più vigoroso quanto per maggior tempo è capace di sostenere una corsa più lunga con tale velocità. Esso in tal caso farebbe ogni 3 minuti quasi un miglio geografico italiano, che è di 1851 metri, velocità di cui si hanno esempi nelle corse fatte appositamente con questi animali. Ora si può valutare la velocità media delle locomotive sulle strade ferrate di 20 miglia geografiche italiane, ossia di circa 37 chilometri all'ora, il che dà appunto un miglio ogni 3 minuti; per cui sulle strade ferrate si camminerebbe con una velocità media eguale a quella di un cavallo che va al gran galoppo.

Un cavallo di mezzana taglia potrebbe al più sostenere per 15 minuti una corsa così rapida, e ripigliarla in un giorno quattro volte dopo il riposo di alcune ore. Esso adunque percorrerebbe ogni volta 9 chilometri, e nelle quattro corse 36 chilometri, portando soltanto il peso del proprio corpo, che pei cavalli corridori si valuta in termine medio di 500 chilogrammi (1). In tal modo il momento

(1) I cavalli da tiro hanno maggior massa, ed il loro peso, in termine medio, si calcola di 523 in 539 chilogrammi, il quale può ascendere pei grassi cavalli sino a 560 ed a 580.

dinamico del cavallo in un cammino tanto celere risulterebbe di 18000 chilogrammi portati alla distanza d'un chilometro in una giornata di lavoro. Siccome poi l'uomo senza carico ha per forza assoluta 3570 (§ 199); così il momento dinamico del cavallo nel camminare a vuoto sarebbe poco più di cinque volte quello dell'uomo.

Non è però con tale rapidissima velocità che il cavallo può fare un lungo cammino e trovarsi in istato di poterlo continuare ogni giorno senza deterioramento subitaneo della propria costituzione. Un cavallo sulle nostre strade di pianura può fare comodamente 50 chilometri al giorno, camminando a vuoto; per tal modo si avrebbero 25000 chilogrammi portati alla distanza d'un chilometro in una giornata; il che darebbe per risultato un momento dinamico pressochè eguale a sette volte quello dell'uomo. Si ha dunque fra la forza permanente dell'uomo e del cavallo un rapporto eguale a quello trovato per la loro forza assoluta (§ 197). Brunacci riferisce due osservazioni intorno al cammino del cavallo a vuoto, che si accostano nei risultati a quello qui riferito, e che daremo più avanti nella Tavola dei momenti dinamici.

207. Un buon cavallo, caricato del rispettivo cavaliere e degli attrezzi indispensabili all'uno ed all'altro, ciò che monta al peso di circa 90 chilogrammi, può percorrere giornalmente 40 chilometri. L'effetto utile risulterebbe in questo caso di 3600 chilogrammi portati alla distanza d'un chilometro. La carica permanente ordinaria d'un cavallo come bestia da soma varia da 100 a 150 chilogrammi, e l'effetto utile può essere valutato a 4000 chilogrammi portati alla distanza d'un chilometro. Questo numero differisce di poco da quello ottenuto da Brunacci nelle sue osservazioni, che riporteremo nella Tavola del momento dinamico pei lavori di diversi animali.

Aggiungendo all'effetto utile l'azione permanente esercitata dall'animale per trasportare il peso del proprio corpo, si ha per effetto totale 2400 chilogrammi. Paragonando ora l'effetto totale della forza permanente del cavallo con quello del facchino (§ 200), si trova che quell'animale ha un momento dinamico circa dieci volte quello dell'uomo. L'effetto utile però del cavallo, adoperato come bestia da soma, è di quasi 6 volte quello dell'uomo.

208. La maniera più vantaggiosa di servirsi del cavallo nella meccanica usuale non è quella di caricarlo a schiena, ma bensì di fargli tirare un peso con qualche veicolo a ruote. Un cavallo, lavorando in questo modo, può tirare 700 in 750 chilogrammi per giorno, senza

comprendervi il peso del biroccio, e percorrere, sulle strade di pianura, 38 chilometri. L'effetto utile del cavallo in questo caso è dunque di 26600 in 28500 chilogrammi trasportati alla distanza d'un chilometro. Da parecchie osservazioni fatte da Brunacci si ha in termine medio, che sopra una strada di pianura ben mantenuta ed in buona stagione, un cavallo attaccato ad un carro tira chilogrammi 494,2, lavorando ore 9 1|3 al giorno e percorrendo met. 5643 all'ora. Il momento dinamico nelle circostanze accennate risulterebbe di 26029 chilogrammi trasportati alla distanza di un chilometro, il quale si approssima al primo superiormente dato. Giova di far notare che il cavallo, nei lavori osservati da Brunacci, ora era accoppiato con un altro cavallo, ora il carro era tirato da tre ed anche da quattro di questi animali, ed inoltre il peso del carro era compreso nel carico. Il massimo effetto utile si ebbe da un cavallo accoppiato ad un altro nel tirare un carro carico di 555,4 chilogrammi, avendo dato per momento dinamico 29769 chilogrammi portati alla distanza d'un chilometro in una giornata di lavoro; ed il minimo da un altro cavallo carico di 424,7 chilogrammi avendo prodotto per momento 14597,33.

209. Noi non ci faremo qui a paragonare i momenti dinamici del cavallo adoperato come bestia da somma (§ 207) e da tiro (§ 208). In tale confronto, facile ad essere istituito, si scorgerà evidentemente l'utilità delle machine nella mecanica usuale. Si possono istituire eguali confronti fra il momento dinamico del cavallo adoperato come bestia da tiro e quello dell'uomo: I risultati delle osservazioni fatte intorno al lavoro del cavallo sulle strade di collina, come pure intorno a quello del mulo, del bue e di qualche altro animale nelle diverse circostanze, sono riportati più avanti nella Tavola (1).

Si osservi che la forza delle machine a vapore si esprime in cavalli. Il lavoro del cavallo in questo caso, adottato da Boulton e Watt, è di 4910 chilogrammi elevati all'altezza d'un metro in un minuto. Riducendo questo lavoro alla nostra unità dinamica, cioè all'altezza d'un chilometro ed in una giornata di lavoro, che supporremo qui di 8 ore, si ha che la forza permanente convenzionale, per valutare da Watt il lavoro delle machine a vapore, è di chilogrammi 2356,80. Il *cavallo-vapore* però si valuta ora comunemente di 75 chilogrammi elevati ad un metro in un minuto secondo; il che per

(1) Sul momento dinamico degli animali può consultarsi la mia *Fisica popolare*, tom. I, dalla pag. 413 alla pag. 440.

by Google

8 ore al giorno conduce al momento dinamico di 2160 chilogrammi elevati ad un chilometro. Qualche ingegnere in Inghilterra (1) ha adottato per la valutazione delle opere il numero di 3275 chilogrammi innalzati ad un metro in un minuto, il che importa in una giornata di lavoro di 8 ore il momento dinamico di 1572 chilogrammi all'altezza d'un chilometro.

210. Allorquando un cavallo tira un carro carico sopra rotaie di ferro produce un effetto molto maggiore di quelli che si ottengono sulle strade comuni. Un cavallo attaccato ad un carro del peso di chilogrammi 2500 ha trasportato un carico di pietre di 5750 chilogrammi sopra una strada ferrata di 288 metri di sviluppo in lunghezza, di cui 78 metri orizzontali e gli altri 210 con un'acclività di 1 sopra 138. Durante 48 giorni il numero dei viaggi è stato di 1302, o in termine medio di viaggi 27, 1 per ogni giorno. Il tempo di ciascun viaggio era di 4 minuti o in ragione di 43,20 metri all'ora (2). L'effetto utile risulterebbe di chilogrammi 1558,25 trasportati alla distanza di 288 metri, ossia di 44877,6 chilogrammi alla distanza d'un chilometro. Quest'effetto del cavallo sulle rotaje di ferro sarebbe circa il doppio del momento dinamico dello stesso animale sulle strade comuni di pianura (§ 208). Ma nelle valutazioni di Brunacci vi ha compreso nel carico il peso del veicolo a ruote; talchè pel giusto confronto è mestieri comprendere anche in questo ultimo caso il peso del carro. Tenendo pertanto conto del peso del carro di chilogrammi 2500, il carico trasportato dal cavallo su quelle rotaie risulta di chilogrammi 8250, e quindi il momento dinamico totale viene ad essere di chilogrammi 64589,6 trasportati alla distanza d'un chilometro in una giornata di lavoro. Il quale lavoro risulta molto più del doppio di quello del cavallo sopra una via comune, e sarebbe riuscito molto maggiore se quella strada a rotaie fosse stata interamente orizzontale, come le comuni dove Brunacci ha fatto le sue osservazioni.

211. Un'indagine di qualche interesse è quella di conoscere il momento dinamico dei cavalli, che sulle strade comuni tirano le vetture e le carrozze più o meno cariche di persone e di robe andando al trotto e non di passo come negli esempi riportati. Quattro buoni cavalli tirano in Inghilterra una *diligenza* ordinaria interamente carica di viaggiatori alla distanza di metri 12872 in una giornata di lavoro

(1) Vedi *Annali di Fisica, Chimica, ecc.* di Majocchi, T. XIII. pag. 223.
(2) Vedi il suddetto volume degli *Annali* pag. 224.

colla velocità di metri 16000 all'ora (1). Questi cavalli hanno bisogno di riposare un giorno per ogni settimana, e d'ordinario sostengono una tale fatica soltanto per 5 in 6 anni. Il peso tirato da ciascuno di essi si può valutare di 500 chilogrammi; talchè il momento dinamico risulta di chilogrammi 6436 portati alla distanza d'un chilometro. Quattro cavalli comuni di posta, tirando nell'alta Italia, le *diligenze*, percorrono in un giorno 16000 metri in ragione di 11000 all'ora su strade ben mantenute e in buona stagione. Ciascuno di essi trae un peso di 600 chilogrammi. L'effetto utile giornaliero in questo caso risulta di 9600 chilogrammi alla distanza d'un chilometro. In Italia dunque il cavallo, andando con un trotto meno celere che in Inghilterra perchè più carico, produce un effetto utile equivalente ad una volta e mezzo il precedente. In ogni caso esso è molto minore di quello del cavallo che vada di passo (§ 208). La ragione di ciò sta in questo che nella condotta delle cose e degli oggetti materiali, non importando molto il tempo, i carrettieri aumentano il carico e sostengono giornalmente un cammino continuato per maggior numero d'ore, sacrificando nella velocità. Mentre nel trasporto delle persone e dei viaggiatori il tempo diventa un elemento di grande importanza, e si sacrifica volentieri in effetto utile per acquistare maggior velocità nella corsa. Appunto per ciò i trasporti delle persone costano maggior prezzo della condotta delle mercanzie e dei materiali.

In Italia si moltiplicarono pure le *diligenze celeri*, le quali trasportano un peso minore per aumentare la velocità del cammino; giacchè alle persone poco importa di pagare di più nel trasporto, purchè guadagnino in tempo. È questa la ragione per cui gradatamente è accresciuta la velocità dei trasporti per gli uomini: così i paesi, ove il commercio ha maggior estensione e l'industria maggior attività, hanno mezzi di trasporto della più grande rapidità. Appunto in ciò sta il gran vantaggio nel trasporto delle persone colle locomotive sulle strade ferrate; giacchè con tali mezzi non solo si ha un risparmio sensibile nelle spese del viaggio, ma si guadagna ancor più in tempo. Per questo gran risparmio di tempo le strade ferrate percorse colla forza del vapore, hanno considerabilmente aumentato il numero dei viaggiatori, e il profitto che le imprese ritraggono è dovuto di più al maggior numero delle persone in confronto della quantità delle merci e delle cose.

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. XIII, pag. 221.

Digitized by Google

212. Si è veduto che la forza assoluta o il momento statico del cavallo equivale alla forza di sette uomini (§ 197); così è anche del momento dinamico quando ambidue fanno dei cammini senza carico (§ 206). L'egual rapporto in generale non si verifica quando tanto l'uomo che il cavallo portano (§ 207) o tirano pesi. Un uomo lavorando colla carriuola o con un carretto produce un effetto utile di circa chilogrammi 1023 nel primo caso e di chilogrammi 2500 nel secondo; mentre un cavallo impiegando la sua forza in un modo consimile produce l'effetto utile di 26029 chilogrammi (§ 208), il quale è molto maggiore del lavoro che farebbero sette uomini assieme. Il cavallo dunque nel tirare produce un effetto utile molto maggiore di quello dell'uomo, lavorando ambidue con machine consimili; essendo il primo 12 ed anche 25 volte il secondo.

Valutando lire metriche 1,50 la giornata d'un operaio, costerebbero 26 operai lire 39. La giornata d'un cavallo, che produce lo stesso effetto utile, può essere portata al prezzo di lire 4, cui bisogna aggiungere la mercede del carrettiere 1,50; perciò il lavoro fatto dal cavallo costerebbe lire 5,50. A questo valore si deve aggiungere la mercede da darsi ad un altro lavoratore per caricare il veicolo a ruote tirato dal cavallo, per cui la spesa totale pel lavoro ascenderebbe a lire 7, che è poco meno della sesta parte della spesa che importerebbe lo stesso lavoro eseguito dagli uomini. I risultamenti adunque, che ci somministra la mecanica nella valutazione delle forze viventi, dimostrano che l'uomo non è stato destinato a tirare pesi come le bestie, e sembra che il Creatore l'abbia dotato di ragione e d'intelligenza per farne uso nei bisogni sociali, servendosi dei mezzi che sono a sua disposizione nell'eseguimento dei lavori dell'industria.

213. Si sono fatte delle osservazioni intorno alla forza di trazione dei cavalli sulle diverse specie di strade, cioè su quelle selciate, su quelle comuni in buono stato mantenute a ghiaja, e su quelle molto sabbiose, e ciò anche in confronto della velocità con cui camminavano gli animali traenti il veicolo a ruote. Primieramente diremo che un cavallo, andando *a passo lento*, ha una velocità di circa metri 5500 all'ora, la velocità di quello che cammina *a passo celere* si ritiene di 7000 metri; *al piccolo trotto* di 11000 metri ed al gran trotto di 16000 metri. Noteremo che la velocità del *galoppo ordinario* si valuta di metri 5,5 per secondo, ciò che dà metri 19800 all'ora, ed *a gran carriera* la velocità può ascendere sino a 10 metri per secondo o a metri 36000 all'ora. Mettendo a confronto i risul-

tati ottenuti in quei casi, si trova che le differenti forze di trazione dei cavalli, nel tirare una carrozza sopra una strada selciata, sono prossimamente proporzionali alle velocità con cui camminano. Questa proporzionalità non si riscontra sopra un terreno molle, come sono le strade non selciate, discostandosi maggiormente quanto più il terreno è cedevole; essendosi trovato che sopra una strada sabbionosa la trazione risulta la medesima tanto col passo lento che al trotto (1). Il rapporto poi fra la forza di trazione ed il peso trasportato va aumentando a misura che cresce la velocità, e ciò più rapidamente sulla strada selciata che su quelle non selciate, facendo i cavalli al passo un minore sforzo sulla strada selciata che su quelle non selciate, mentre al trotto lo sforzo riesce maggiore sulla prima che sulla seconda specie di strade, eccetto però la sabbionosa.

214. Si sono fatte eziandio delle osservazioni dirette ad indagare se sia meglio viaggiare continuamente di passo, come i vetturali per l'addietro che partivano al sorgere dell'aurora e seguitavano il cammino quasi per l'intera giornata fermandosi poco tempo per un breve riposo; oppure di viaggiare 4 in 5 ore per giorno camminando più celeramente e dando un tempo più lungo al riposo dei cavalli. Le sperienze istituite hanno mostrato che i cavalli si trovavano in molto migliore stato, durante un cammino di 15 giorni, facendo 8 in 10 leghe metriche ogni giorno al trotto, che dopo aver percorso lo stesso cammino nel medesimo numero di giorni andando al passo. Affinchè si verifichi questo fatto importante bisogna che la trazione sia molto al disotto del limite cui può giungere, determinata dalla forza massima dei cavalli. D'altronde la maggior perdita di forza, esercitata dal cavallo al trotto in confronto di quella a passo lento, può largamente essere riparata durante il tempo economizzato; o in altri termini la trazione esercitata per un dato tempo al trotto produce una perdita di forza che riesce minore di quella perduta per un tempo maggiore al passo lento. In Italia alcuni vetturali, dovendo ascendere per una salita un poco ripida, mettono i cavalli al gran trotto appunto per la ragione che giunti alla sommità di essa la quantità totale di forza consumata risulta meno considerabile pel minor tempo andando con celerità che con lentezza. In Inghilterra i postiglioni delle *diligenze* fanno le salite con una velocità d'un sesto e di un quinto minore di quella con cui camminano sopra una strada orizzontale: gl'Inglesi sembrano in questo meno accorti degl'Italiani.

(1) Veggasi la mia *Fisica popolare*, tom. I, pag. 428.

215. Il conoscere nelle diverse circostanze il momento dinamico dell'uomo e degli animali, da cui fra noi è sussidiato nei lavori meccanici, è importante sotto ogni rapporto. Imperocchè, sapendosi valutare le forze degli animali d'una nazione, si potrà nella statistica, non solo presentare il numero degli animali delle diverse specie, ma valutare eziandio la forza di quelli che si adoprano nei lavori; e così, unitamente a quella umana ed ai motori meccanici, avere la forza complessiva della nazione medesima. Egli è per ciò che crediamo merito dell'opera il presentare riuniti nel seguente quadro i valori della forza vivente, secondo le osservazioni fatte nelle diverse circostanze sulla medesima.

MOMENTO DINAMICO

Di diversi animali in differenti specie di lavoro.

SPECIE DI LAVORO.	Carico	Viag. in un'ora	durata giorn.	Momento dinamico
	Chilogr.	*Chilom.*	*Or. M.*	
1. Il soldato romano col carico eguale in ambidue i casi (§ 202)	129,0	6,000 7,200	5.—	870,000 1044,000
2. Un facchino nel trasportare materiali e ritornando a vuoto a prendere nuovo carico (§ 200)	58,0	2,000	6.—	606,000
3. Un merciajuolo che viaggia col carico ad armacollo (§ 201)	44,0	2,857	7.—	880,000
4. Un operaio carico di legna salendo per una scala e ritornando a prendere nuova legna (§ 205)	68,0	2,070	1.13	53,856
5. Un operaio che solleva in comune con altri il battipalo od ariete meccanico.	19,0	1,320	3.—	75'240
6. Un operaio che fa girare una manovella	7,0	2,760	6.—	115,920
7. Un uomo delle prigioni della Gran Bretagna nel girare un timpano meccanico col peso del proprio corpo .	—	0,656	—.—	0,223
8. Un operaio trasportando terra colla carriuola e ritornando a vuoto	70,0	2,922	10.—	1022,910

SPECIE DI LAVORO.	Carico	Viag. in un'ora	durata giorn.	Momento dinamico
	Chilogr.	*Chilom.*	*Or. M.*	
9. Un operaio che tira un veicolo a due ruote carico di materiali sopra una strada comune senza reggere verun peso, ritornando a vuoto a prendere nuovo carico . . .	160,0	2,900	10.—	2320,000
10. Un cavallo adoperato come bestia da soma in una strada di pianura.	97,4	5,165	8.15	4150,320
11. Un mulo come bestia da soma in una strada simile alla precedente.	130,5	4,570	10.20	6162,210
12. Un cavallo come bestia da soma in una strada acclive	86,0	3,295	8.—	2266,960
13. Un mulo adoperato come il cavallo precedente.	107,0	3,983	9.40	4119,714
14. Un dromedario od un cammello nel portar pesi in una strada di pianura. . . .	400,0	5,000	12.—	24000,000
15. Un buon cavallo attaccato assieme con altri ad un veicolo a due ruote nel trasportare sulle strade di pianura ben mantenute. . .	1000,0	4,000	12.—	48000,000
16. Un cavallo di carrettiere attaccato assieme ad altri per una strada ben mantenuta :	1000,0	4,000	8.—	32000,000
17. Un cavallo attaccato ad un baroccio per istrada di pianura	914,6	2,980	13.—	35470,344
18. Un cavallo attaccato ad un baroccio come il precedente.	833,3	4,460	12.—	44598,216
19. Un cavallo attaccato ad un carretto carico di carbon lignite sopra una strada in parte declive ed in qualche luogo con salità	1220,0	3,000	11.—	40260,000
20. Un cavallo attaccato con un altro ad un veicolo a due ruote sopra strada di pianura.	846,4	3,570	12.—	36259,776
21. Un cavallo attaccato				

SPECIE DI LAVORO.	Carico	Viag. in un' ora	durata giorn.	Momento dinamico
	Chilogr.	*Chilom.*	*Or. M.*	
con altri due ad un carrettone sopra una strada di pianura.	752,8	4,190	13.30	42582,132
22. Un cavallo attaccato con altri tre ad un carrettone sopra una strada di pianura.	776,4	4,190	13.30	43917,066
23. Un cavallo tirando un baroccio carico di terra, e ritornando a vuoto a prendere nuovo carico	700,0	2,160	10.—	15120,000
24. Un mulo con un veicolo a due ruote sopra una strada di pianura.	833,0	3,720	14.—	43382,640
25. Un mulo come il precedente.	733,0	4,090	13.—	38973,610
26. Un mulo attaccato con un altro ad un veicolo a due ruote nelle anzidette circostanze	728,0	4,090	13.—	30797,760
27. Un mulo attaccato con altri due ad un carrettone nelle suddette circostanze .	896,0	4,460	12.—	47953,920
28. Un mulo attaccato assieme a due altri nelle eguali circostanze	805,8	4,090	13.—	42844,386
29. Un mulo attaccato ad un carrettone con tre altri sopra una strada pure di pianura	770,8	3,720	14.—	40143,264
30. Un cavallo attaccato assieme con altri ad un carro a quattro ruote sopra una strada di pianura	494,2	5,643	9.20	26028,526
31. Un cavallo con un carro a quattro ruote assieme ad un altro sopra una strada egualmente di pianura . .	555,4	5,360	10.—	29769,440
32. Un cavallo nelle stesse circostanze del precedente. .	424,7	11,300	3.—	14397,330
33. Un cavallo attaccato con altri ad un carro a quattro ruote in una strada acclive	350,0	3,470	7.—	8501,500
34. Un mulo attaccato ad un carrettone assieme ad al-				

SPECIE DI LAVORO.	Carico	Viag. in un' ora	durata giorn.	Momento dinamico
	Chilogr.	*Chilom.*	*Or. M.*	
tri in una strada parte in pianura e parte in montagna, nella buona stagione. . . .	1000,0	2,500	12.—	30000,000
35. Un cavallo sopra una strada ferrata orizzontale. .	15224,0	3,240	8.—	394606,080
36. Un cavallo attaccato ad un carro a quattro ruote sopra una strada ferrata, la quale per un terzo circa orizzontale, e per due terzi dell'acclività del 7 per 1000 (§ 210)	8250,0	4,320	1.48,4	64389,600
37. Un cavallo sopra una strada selciata orizzontale .	1000,0	3,200	10.—	51840,000
38. Un *cavallo-vapore* misura convenzionale	75,0	3,600	8. 12. 24.	2160,000 3240,000 6480,000
39. Un bue accoppiato con altri ad un carro di quattro ruote sopra una strada in pianura	501,4	3,063	9.49	15073,859
40. Un bue accoppiato con un altro ad un carro di quattro ruote sopra una strada in pianura	450,0	2,970	14.—	18711,000
41. Un bue attaccato ad un carro di quattro ruote con altri su una strada acclive.	374,3	2,600	7.—	6811,350
42. Un cavallo attaccato ad una *diligenza* sulle strade comuni d'Inghilterra	500,0	16,000	—.48,3	6436,000
43. Un cavallo attaccato ad una *diligenza* sulle strade comuni d'Italia	600,0	11,000	1.33	9600,000
44. Un cavallo di vettura accoppiato con un altro nel trasporto dei passaggeri coi loro bagagli	350,0	7,920	4.30	12474,000
45. Un cavallo attaccato ad una barca sopra un canale navigabile	25000,0	4,000	8.—	800000,000
46. Un cavallo attaccato ad una barca come il prec.	30000,0	3,600	10.—	1096560,000
47. Un cavallo trasportando con un carro la birra per distribuirla nella città di Londra.	1577,5	5,250	4.—	33127,500

Dei numeri posti nelle prime tre colonne è abbastanza chiara la significazione; nella quarta colonna poi è notato il momento dinamico espresso in chilogrammi e frazioni di chilogrammo trasportati alla distanza d'un chilometro in una giornata di lavoro, la cui durata trovasi nella penultima colonna.

I primi quatro momenti dinamici sono desunti da osservazioni ed esperienze, di cui si è parlato nei paragrafi precedenti ivi notati. Il momento dinamico del n° 5 è calcolato col solito metodo sui dati somministrati da Coulomb nell'opera superiormente citata, notando che quivi la velocità si riferisce alle mani. Quello del n° 6 è egualmente tratto dall'opera di Coulomb nello stesso modo, ed anche in questo la velocità è lo spazio descritto dalla mano. Il n° 7 è il risultato medio di tredici osservazioni fatte in altrettante case di forza da Dupin. Egli non dà nè il peso sollevato, nè la durata giornaliera del lavoro; ma riporta soltanto il numero dei passi fatti dal prigioniero sulla ruota a timpano, il qual numero è in termine medio di 53; l'elevazione del passo, la media della quale risulta di metri 0,2; e l'altezza percorsa sulla ruota stessa, che è in termine medio di metri 3.463. Inoltre dà il numero di chilogrammi elevati ad un metro in un giorno. Si vegga l'opera di questo autore: *Mechanique des arts et métiers*, tom. III, pag. 95. Il n° 8 e 9 sono calcolati sugli elementi dati da Coulomb.

Dopo il momento dinamico dell'uomo nelle diverse specie di lavori, si riporta quello del cavallo e del mulo, incominciando dal caso che siano adoprati come bestie da soma. Il n° 10 è il risultato di quattro osservazioni fatte da Brunacci e pubblicate nel giornale di Brugnatelli succitato. Il n° 11 è pure dedotto da tre osservazioni fatte da Brunacci; e il n° 12 da due altre osservazioni del medesimo. Le strade acclivi o in salita sono distinte da Brunacci in istrade di *collina* e di *montagna*, intendendo per la prima una via che ragguagliatamente ha un'acclività non maggiore del 4 per 100, e per la seconda non maggiore del 7 per 100. Il n° 13 vien dedotto da tre osservazioni istituite da Brunacci; e il n° 14 si è ricavato da alcuni dati pubblicati nel giornale la *Biblioteca italiana*, Milano 1820, t. XVIII, pag. 233. Per riguardo agli elementi del momento dinamico notato sotto il n° 15, si veggano gli *Annali di fisica* ecc. di Majocchi, tom. XIII, pag. 221. Il n° 16 è dato da Navier nella sua opera sulle pubbliche costruzioni. I momenti dinamici sotto i nn. 17 e 18 furono ricavati dai dati raccolti da Brunacci sulla forza muscolare ed inseriti nel giornale succitato. Interrogando parecchi carrettieri che condu-

Digitized by Google

cono a Milano il carbone lignite della miniera di Leffe presso Gandino al di sopra di Bergamo, si sono avuti gli elementi per calcolare il momento dinamico posto sotto il n° 19. I carretti sono comunemente tirati da un solo cavallo. La strada, dalla miniera a Bergamo sino al ponte sull'Adda vicino a Vaprio, ha un declivio più o meno sensibile. Passando quivi il fiume vi ha una salita della lunghezza di alcune centinaia di metri, dopo la quale la strada sino a Milano si può considerare in pianura. Si noti che i carretti da Milano ritornano alla miniera carichi soltanto di oggetti di poco peso, e che la distanza da questa miniera a Milano si può valutare di circa 60 chilometri. Il n° 20 è il risultato medio di tre osservazioni di Brunacci; come pure i nn. 21 e 22 di due osservazioni fatte dal medesimo. Il n° 23 è riportato da Navier. Brunacci riporta sette osservazioni intorno al lavoro notato sotto il n° 24, che rappresentano delle grandi differenze intorno all'effetto utile prodotto. In una l'animale ha trasportato con un veicolo a due ruote chilogrammi 633 producendo un momento dinamico di 33890, mentre in un'altra nelle stesse circostanze ha tirato 833 chilogrammi dando per momento dinamico 43383. Sotto il numero 24 si riporta appunto quest'ultimo momento dinamico; mentre nel n° 25 si dà la media delle due; nel n° 26 la media di altre due; nel n° 27 una delle medesime osservazioni intermedie fra la minore e la maggiore, e nel n° 28 il risultato medio di due altre osservazioni. Le differenze di queste osservazioni risultano dalla grande diversità che si riscontra nella taglia del mulo, il quale, all'incontro del cavallo, presenta sovente animali di piccola e di grande taglia. Il n° 29 è il risultato d'una sola osservazione data da Brunacci. Pel numero seguente si vegga il § 208, e pei nn. 31 e 32 si vegga il più volte citato Brunacci, come pure del momento dinamico notato sotto il n° 33. Il momento dinamico del n° 34 è dedotto da parecchie notizie avute dai carrettieri, che conducono mercanzie ed oggetti d'ogni genere da Genova nelle città dell'alta Italia, percorrendo una strada parte in pianura e parte in montagna in bella stagione. Il risultato posto sotto il n° 35 è ricavato da alcuni dati riferiti nel *Philosophical magazine* di Londra, fascicolo di gennaio del 1825. Per riguardo al n° 36 si vegga il § 210. Il n° 37 è valutato secondo i dati riferiti da Navier. Pei momenti dinamici risguardanti il *cavallo-vapore* come al n° 38, si vegga il § 209.

Dopo avere riferiti i momenti dinamici delle diverse specie di lavoro fatto dal cavallo e dal mulo, si passa in seguito al lavoro del bue, e il momento dinamico riportato sotto il n° 39 è dedotto da otto osserva-

zioni fatte da Brunacci, in alcune delle quali il carro era tirato da quattro e in altre da due buoi. Una di queste osservazioni è riportata nel n° 40 seguente, ed un'altra nel n° 41.

In seguito ai trasporti fatti dagli animali, che camminano con lento passo, vengono quelli con passo celere; e sotto i nn. 42 e 43 si danno appunto i momenti dinamici in tal caso, di cui si è parlato al § 211. Al n° 44 si riporta il momento dinamico dato in tali circostanze da Navier. Per rispetto al momento dinamico riferito sotto il n° 45, si veggano gli *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. XIII, pag. 222; l'altro poi sotto il n° 46, nelle stesse circostanze del precedente, è dato da Stephenson. Finalmente il n° 47 è ricavato da alcune notizie riferite negli *Annali*, tom. XIII, pag. 223. Si noti però che nel computo la velocità è dedotta dal tempo impiegato dall'animale nel cammino, senza comprendervi quello in cui, con diverse interruzioni, deve necessariamente star fermo più o meno lungamente per la distribuzione del carico in diversi luoghi.

Intorno ai risultati esposti nel quadro osserveremo altresì che nei primi nove numeri si dà il momento dinamico dell'uomo in diverse circostanze, il quale varia secondo la specie di lavoro che eseguisce. In generale si osserva che l'opera dell'uomo nel trasportare orizzontalmente riesce sempre maggiore di quella nel sollevare pesi verticalmente. Ponendo a confronto i momenti dinamici dei nn. 8 e 9 con quelli notati sotto i nn. 2 e 3, si scorge tosto il vantaggio delle machine nel trasportare pesi orizzontalmente. Ai nn. 4, 5, 6 e 7 si riportano i lavori fatti dall'uomo nell'innalzare pesi verticalmente. Nel portare in alto un peso sul dorso, l'uomo produce un effetto utile n° 4 minore di quello, che il medesimo conseguisce col sollevarlo verticalmente mediante una machina così semplice qual'è la carrucola nel battipalo n° 5; e quest'ultimo poi è minore dell'altro che risulta nel girare una manovella n° 6. Considerando il momento dinamico n° 1 del soldato degli antichi Romani carico delle sue armi e del suo bagaglio, si vede come in qualche caso egli spiegava una forza permanente superiore ben anche a quella d'un uomo, che opera mediante una machina n° 8. Il momento dinamico poi dei prigionieri, nel sollevare pesi mediante una machina n° 7, è il minore di tutti, essendo ben anche inferiore a quello dell'operaio, che porta il carico sul dorso n° 4. Il tenue lavoro del prigioniero, nell'innalzare pesi, pare che dipenda dal non essere obbligato l'individuo ad operare con regolarità, venendo abbandonato a se medesimo senza orario nè sorveglianza nell'esecuzione del lavoro stesso. Abbiamo già detto che

la forza dell'uomo varia non solo secondo le diverse specie di lavoro, ma eziandio secondo l'attitudine e la destrezza acquistate nell'eseguirlo (§ 188); e un parrucchiere, per esempio, non potrebbe elevare un grosso martello durante il corso d'una giornata per lavorare il ferro come fa il fabbro-ferrajo. Questi, oltre aver acquistato coll'esercizio la maniera d'eseguire con più facilità il lavoro, rinforza la sua muscolatura durante il lavoro medesimo; e col dinamometro si è trovato infatti che un parrucchiere aveva poco più della metà di forza di un fabbro-ferraio. In generale gli uomini, che hanno i muscoli più risentiti, sono dotati di maggior forza muscolare di quelli che hanno le membra carnose. I prigionieri quindi che, eccetto quel poco lavoro obbligatorio, passano il resto della giornata in una perfetta inazione, perdono l'attitudine al lavoro e la loro muscolatura diventa rilasciata; e questa è certamente un'altra cagione del loro tenue lavoro. Aggiungasi anche il poco e cattivo nutrimento di quegli infelici, che contribuisce moltissimo a rendere la loro forza inferiore a quella d'un uomo, che si ciba di sani ed abbondanti alimenti e si esercita nei movimenti del corpo.

Nei lavori riportati nel quadro s'intende che l'animale, dopo alcuni giorni di fatica, deve riposare al pari dell'uomo, che ha il giorno festivo d'ogni settimana per dar tregua alle sue operazioni. Ogni sei giorni quindi bisogna che uno almeno sia dedicato al riposo. D'altronde in alcuni degli esempi riferiti l'animale, dopo aver trasportato il peso ad una data distanza, ritorna a vuoto o almeno con molto minor carico, come è il cavallo del n° 19. Brunacci infatti, nel riferire i risultamenti delle sue osservazioni, avverte che, per le strade acclivi, il riposo delle bestie che lavorano deve essere dato più di sovente, cioè ogni quattro o cinque giorni come bisogna darlo ai cavalli che tirano le diligenze (§ 211). In tutti i momenti dinamici riportati per le bestie da tiro vi è compreso nel carico il peso del veicolo, il quale è molto variabile e si può valutare da 1/5 sino ben anche in qualche caso ad 1/3 del peso totale trasportato.

Quando il lavoro d'un animale è diretto a sollevare pesi verticalmente, il momento dinamico riesce pure, come nell'uomo, molto minore del trasporto sopra una via orizzontale. Il *cavallo-vapore* n° 38 nel sollevare pesi dà un momento dinamico minore degli altri notati nel quadro nel tirare tanto per una via orizzontale quanto per una acclive n° 33 e 41. Siccome alcuni ingegneri sogliono esprimere il momento dinamico col peso sollevato ad una data altezza; così, per la facilità dei confronti, importerà che sia dichiarato se il peso

Digitized by Google

è sollevato verticalmente o trasportato per una via di pianura o in acclività.

Dalla Tavola del momento dinamico si ricava altresì che il numero delle ore di lavoro giornaliero dipende dalla qualità del lavoro medesimo. In alcune opere l'individuo può faticare per parecchie ore ogni giorno; in alcune altre le sue forze, in un tempo molto minore, sono estenuate e diventa per quel giorno incapace ad ulteriore lavoro. Nel cavallo attaccato alla *diligenza*, la durata del lavoro giornaliero, n° 42 e 43, è di 48', 3 o al più di ore 1. 33'; mentre in quello che tira un carrettone, n° 21 e 22, è di ore 13, 30'. Un bue, tirando un carro carico sopra una strada di pianura, n° 40, può continuare per 14 ore al giorno; per una strada acclive la durata giornaliera del lavoro n° 41 si riduce alla metà.

Osserveremo infine che le differenze, dei risultamenti dell'azione giornaliera delle bestie da tiro esposti nella Tavola, dipendono non solo dalla strada se è in pianura o in montagna, ma ben anche dalla diversa costituzione dell'animale che fatica, dalla razza del medesimo, dalla qualità e quantità del nutrimento, dal metodo di cura e di governarlo e simili.

216. Un corpo inanimato (inerte) è incapace da sè di prendere un movimento che non ha, e se è in quiete rimane eternamente in questo stato quando da niun agente sia sollecitato al moto. Parimenti un corpo, muovendosi per una certa direzione e con una data velocità, deve continuare a muoversi nella stessa direzione e conservare la stessa velocità se niun ostacolo alteri il suo movimento. Questa verità ci è attestata dall'esperienza giornaliera, la quale costantemente c'insegna che un tal cambiamento di stato proviene dall'azione d'una nuova forza esercitata sul corpo. L'osservazione poi dei corpi in quiete od in moto sulla terra e dei grandi globi che spaziano nella vastità del firmamento, ci conduce del pari ad ammettere una tal legge generale del movimento dei corpi; la quale si chiama *legge d'inerzia*, che è la più naturale e la più corrispondente ai fatti ed alla ragione.

Consideriamo quindi l'*inerzia* come una legge di natura; ed allorquando osserviamo una qualsiasi alterazione nel movimento d'un corpo, riteniamo che questa dipenda da qualche estranea cagione, da qualche forza nuovamente sopraggiunta ad agire sul corpo. Egli è appunto per tal ragione che l'*inerzia* ha per effetto un'opposizione od una resistenza a quella forza, dalla quale viene cambiato lo stato del corpo (§ 187).

Da queste considerazioni si deduce la seguente prima legge del moto dei corpi: I. *Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto, per quella direzione stessa in cui ha incominciato a moversi, finchè non sia obbligato da un'altra forza a cambiare il suo stato di quiete o di movimento.* Una forza dunque non solo può mettere in moto un corpo che si trova in quiete, ma annullare ben anche, od alterare e modificare il moto; per cui essa si può definire in un senso più lato di quello già espresso (§ 185), intendendo per *forza tutto ciò che può vincere l'inerzia dei corpi.*

217. La seconda legge generale del moto è una conseguenza di quanto superiormente si è dichiarato (§ 187), ed è la seguente: II. *Qualunque cambiamento di stato di quiete o di moto, che s'induce in un corpo, è sempre proporzionale alla forza impiegata a produrlo e si fa nella direzione impressa dalla forza medesima.* Un tal effetto, che consiste nella velocità impressa nel corpo, non solo deve essere proporzionale alla causa, ma deve succedere sempre nella direzione della forza medesima, da cui è prodotto. Questa verità non solo ci è dimostrata dall'esperienza, ma dal principio della ragione sufficiente: imperocchè non v'ha veruna ragione, perchè l'alterazione dello stato del corpo sia maggiore o minore dell'effetto che può produrre la forza, nè che la direzione del moto si faccia diversamente da quella, secondo cui la forza stessa esercita la sua azione.

218. La terza legge generale del moto combina in parte colla precedente, e ne differisce principalmente in questo, che si applica eziandio alle semplici pressioni, alle forze che non producono nel corpo inerte un effettivo movimento. Essa è così concepita: *La reazione è eguale* o *contraria all'azione*: vale a dire che le azioni reciproche di due forze, o di due corpi dotati di moto, l'uno contro l'altro, sono sempre eguali fra loro e dirette in contrario verso.

Di questa terza legge si ha un'idea sperimentale con due barchette d'egual massa e forma, galleggianti l'una dirimpetto all'altra sull'acqua contenuta in una vasca, sull'una delle quali havvi collocata una verga d'acciajo calamitato (agente) e sull'altra una verga di ferro (reagente) in tutto eguale alla prima. Quella d'acciajo pel potere del magnetismo attrae la verga di ferro, e questa reagisce alla sua volta in modo che per le due azioni eguali e contrarie le due barchette si avvicinano con moto eguale in ambedue, senza che la verga *agente* resti immobile nell'attrarre la *reagente*. Lo stesso avviene d'un uomo che, stando sopra una barca, tira una fune attaccata ad un'altra barca. La prima, su cui sta l'uomo *agente* si avvicina alla seconda *reagente*,

come questa a quella; e se le due barche hanno egual massa ed egual forma si avvanzano dello stesso spazio in egual tempo nel loro avvicinarsi.

219. Dalla prima legge si deduce che un corpo, il quale abbia un moto comune con un altro, deve conservare il suo moto quand'anche venga disgiunto da quello da cui era trasportato. Egli è appunto per ciò che una pietra abbandonata dalla sommità dell'albero d'una nave in movimento, cade al piede dell'albero medesimo, quantunque la nave continui il suo moto con l'egual velocità; parimenti che una palla, gettata in alto verticalmente da un uomo che camminia a piedi od a cavallo con una certa velocità, conserva il suo moto orizzontale comune coll'uomo e si avanza egualmente in modo da cadere nel nuovo punto in cui l'uomo si trova. Ciò si vede spesso praticato nei giuochi dei cavallerizzi, i quali si slanciano verticalmente quando incontrano una funicella interposta nella periferia del circo percorso dal cavallo. S'intende anche come, a malgrado della rotazione della terra, una pietra, lanciata verticalmente nell'atmosfera, cada nello stesso sito da cui è stata gettata.

Questa verità della conservazione del moto era stata dimostrata da Galilei e poscia confermata con esperienze degli academici del Cimento (1); le quali con un carretto, moventesi in virtù d'una molla, si è cercato di rendere facili ad istituirsi in un gabinetto con una palla lanciata da un'altra molla verticalmente durante il movimento del carretto.

In virtù della terza legge s'intende facilmente come la pressione, esercitata da una mano sopra un corpo, riesce la medesima sia che questo appoggi sopra un oggetto inamovibile, come sarebbe un tavolo, oppure che la pressione venga contrastata dall'altra mano contro la prima con uno sforzo eguale alla resistenza opposta dal tavolo medesimo. S'ingannerebbe quindi colui, che credesse nel secondo caso dovesse risultare doppia pressione del primo. Per la stessa ragione un uomo, che correndo va ad urtare contro un altro in riposo, riceve un urto come quest'ultimo. L'urto risulterebbe doppio, se i due uomini corressero l'uno contro l'altro con l'egual velocità.

Si comprende altresì come un corpo, lanciato o sospinto da una forza qualunque, percorra relativamente ad una nave, con cui ha un moto comune equabile, lo spazio che percorrerebbe se la nave fosse

(1) *Saggi di naturali sperienze* ecc. edizione del 1841 di Firenze pag. 165.

in quiete, e ciò qualunque sia la direzione e la velocità che gli s'imprima. Una palla, per esempio, sospinta da una molla alla poppa di una nave in moto, percorre lo spazio di 5 metri sulla nave medesima, ed a prora descrive egualmente lo spazio di 5 metri lanciata pure dalla stessa molla.

220. Si è detto che, quando un corpo risente l'azione d'una forza impressa e viene tolto dal suo stato di quiete, esso continua a muoversi nella stessa direzione conservando sempre la stessa velocità (§. 216). È questo appunto il carattere del *moto uniforme* o *equabile*. Ne risulta quindi che *nel moto uniforme il corpo in tempi qualsivoglia eguali percorre sempre spazi eguali*. Esso differisce dal *moto variabile* od *inequabile*, in quanto che in questo *il corpo descrive in tempi eguali spazi ineguali*. Il moto uniforme è sempre prodotto, come è chiaro, da una forza istantanea od impressa (§. 186), la quale gli comunica una certa velocità con cui continua a moversi senza variarla per la prima legge generale del movimento (§. 216). Il moto uniforme è il più semplice di tutti quelli, che possono essere acquistati da un corpo. Il moto d'un corpo, che percorre, per esempio, un metro ogni minuto secondo è uniforme, come è uniforme quello d'un altro corpo che trascorre due o più metri nella medesima unità di tempo. Di questi moti uniformi l'uno è dall'altro diverso, ed è facile il comprendere che si dà un numero indefinito di moti uniformi, per essere indefinito il numero delle lunghezze dello spazio percorso in un'unità di tempo.

221. Le velocità, gli spazi e i tempi nel moto uniforme hanno dei rapporti, che costituiscono le leggi di questa specie di movimento. Notiamo con V, S, T la velocità, lo spazio ed il tempo corrispondenti ad un corpo che si muove uniformemente, ed u, s, t le quantità analoghe d'un altro moto uniforme, e finalmente x, s, T quelle d'un terzo moto simile: mettendo a confronto il primo e terzo moto, nei quali si ha l'ugual tempo, è chiaro che le velocità devono essere proporzionali agli spazi (§. 182), per cui si avrà: $V : x :: S : s$; come pure nel terzo e secondo moto, dove sono eguali gli spazi, bisogna che le velocità siano inversamente proporzionali coi tempi, e perciò risultera $V : u :: \frac{1}{T} : \frac{1}{t}$. Componendo le due proporzioni si ottiene: $V : u :: \frac{S}{T} : \frac{s}{t}$. Dunque *in due moti uniformi differenti le velocità sono in ragione composta diretta degli spazi ed inversa dei tempi.*

Se fosse $V=u$, sarebbe eziandio $\frac{S}{T}=\frac{s}{t}$, e quindi $S : s :: T : t$, cioè *essendo eguali le velocità, gli spazi seguono la ragione dei tempi.* Una tale supposizione dell'eguaglianza delle velocità nei due moti uniformi, li costituisce un solo moto, dove sappiamo già che gli spazi procedono sempre in ragione dei tempi (§. 220).

Per avere l'espressione del valore della velocità, è necessario stabilire l'unità di misura. Sia pertanto u quest'unità, alla quale corrisponde l'unità di spazio s e l'unità di tempo t. Dalla proporzione superiore si avrà in tal caso $V=\frac{S}{T}$, cioè *la velocità eguaglia lo spazio diviso pel tempo*; nel qual valore S, T sono altrettante unità astratte, che dinotano il valore espresso per l'unità di velocità u. Per essere $V=\frac{S}{T}$, risulta $S=VT$, e $T=\frac{S}{V}$. Si noti che la velocità, il tempo e lo spazio sono quantità, che si possono rappresentare anche con linee, per cui, esprimendo con una retta il tempo e con un'altra retta perpendicolare all'estremità della prima la velocità, e compiendo il rettangolo, lo spazio descritto dal corpo nel moto risulterà proporzionale all'area di questo rettangolo. Infatti sappiamo dalla geometria che il rettangolo eguaglia il prodotto dei due suoi lati attigui, e nel nostro caso il prodotto del tempo per la velocità, il quale è appunto l'espressione dello spazio percorso dal corpo con moto uniforme; giacchè essendo $V=\frac{S}{T}$, si ha $S=VT$. Egli è chiaro che qui trattasi soltanto di proporzionalità, nè il corpo nel suo moto potrebbe descrivere l'area del rettangolo, sapendo che lo spazio è sempre una linea (§. 182). Egli è per ciò che le leggi del moto si possono dimostrare e rappresentare tanto col calcolo algebraico, quanto colla geometria.

222. Una volta che ad un corpo sia stata impressa una velocità, esso dovrebbe conservarla indefinitamente, sinchè qualche agente estraneo viene ad alterarla (§. 216). Il moto uniforme quindi non solo è il più semplice di tutti gli altri moti (§. 220), ma sarebbe eziandio quello che dovrebbe prendere un corpo qualunque una volta che fosse stato posto in movimento. Sulla terra però ad ogni istante un gran numero di ostacoli, di sfregamenti, di resistenze si oppongono alla perpetuità ed alla conservazione del movimento dei corpi, dopo che vi siano sollecitati. Quando s'imprime ad un corpo una qualunque velocità, vediamo che questa va sempre più dimi-

nuendo, e termina coll'annullarsi del tutto. Quanto minori riescono queste resistenze, tanto maggior tempo dura il moto, il quale però va sempre decrescendo e cessa tosto sino dai primi istanti d'essere uniforme. Una sfera, per esempio, che si sospinga con una certa velocità sopra la superficie ben liscia d'un lago agghiacciato, continua il suo moto per un tempo molto più lungo che nello scorrere sopra il terreno anche ben appianato, perchè gli ostacoli sul ghiaccio riescono molto minori che sul terreno. Negli spazii vuoti del firmamento l'impulsione, che i globi celesti hanno ricevuto al tempo della creazione, è conservata permanentemente, quantunque siano soggetti a forze motrici, che fanno loro continuamente cambiare direzione nei loro moti. Nelle nostre arti perciò, affine di produrre un moto continuo, bisogna ad ogni istante aggiungere nuovi gradi di velocità ai corpi, che si mettono in movimento, per compensare quelli distrutti dalle resistenze. Negli spazii celesti, una volta data l'impulsione, il corpo continuerebbe a moversi uniformemente, senza bisogno di rinnovare l'impulsione stessa.

223. Se dagli elementi inseparabili del moto, lo spazio ed il tempo, ci rivolgiamo a considerarne la causa o la forza da cui è prodotto, si ricavano altre leggi proprie del moto uniforme. Si osservi che, nel mettere in moto un corpo, la forza imprime a tutte le molecole di esso una certa velocità; e che la velocità impressa diventa doppia se la massa del corpo si riduce alla metà, tripla se la massa è ridotta al terzo; e così la velocità, per l'azione della medesima forza, aumenta in proporzione che si diminuisce la massa. Questa verità è confermata continuamente dall'esperienza (§. 187); e la molla, che esercita sempre la medesima elasticità sopra diversi corpi, imprime in questi delle velocità inversamente alle masse. Perlocchè il prodotto della massa per la velocità rispettivamente comunicata forma una quantità costante per ciascun corpo; quantità che costituisce il risultato del moto impresso ai corpi di diversa massa dalla medesima forza. Da ciò si deduce, che *l'effetto d'una forza si valuta dal prodotto della massa per la velocità*. Un tal prodotto rappresenta ciò che si chiama nella fisica mecanica *quantità di moto*.

Siccome poi non si conosce l'intima natura delle forze, ed esse si valutano per ciò dai loro effetti (§. 185); così si prendono le *quantità di moto* per rappresentare i *valori delle forze*, essendo infatti queste ultime proporzionali a quelle quantità. Una palla da fucile ed una da cannone, che si muovano colla stessa velocità, hanno nelle quantità di moto una differenza, la quale indica la differenza delle

forze con cui sono state lanciate; la forza, per esempio, d'un grammo di polvere nel primo caso e di mille grammi nel secondo.

224. Rappresentiamo ora con F la forza impressa in un corpo di massa M, in cui ha prodotto la velocità V, e con f, m, u gli analoghi elementi d'un secondo corpo, mentre la forza φ imprime alla massa M la velocità u. Mettendo a confronto le due forze F, φ, che sollecitano la stessa massa M, si avrà da quanto si è dichiarato $F : \varphi :: V : u$. Facendo lo stesso per le due forze φ, f che imprimono alle due masse M, m la stessa velocità u, si otterrà la proporzione $\varphi : f :: M : m$. Combinando le due precedenti proporzioni, ne risulta: $F : f :: Mv : mu$, cioè *le forze impresse sono in ragion composta diretta delle masse e delle velocità*. Da dove, prendendo per f l'unità di forza, che imprime alla massa $m=1$ la velocità $u=1$, si ha $F=MV$, cioè la *forza eguaglia il prodotto della massa per la velocità*; e qui s'intendono pure le unità astratte di M per quelle pure astratte di V, il cui prodotto esprime altrettante unità concrete della velocità u. Se nella proporzione $F : f :: MV : mu$, sia $F=f$, risulterà eziandio $MV=mu$, e quindi $V : u :: m : M$, cioè *quando le forze sono eguali, le velocità impresse sono in ragione reciproca delle masse.*

225. Le due equazioni $V=\frac{S}{T}$ (§. 221), $F=MV$ (224) sono fondamentali, e da esse si ricava quest'altra $F=\frac{MS}{T}$. Le leggi del moto uniforme, considerando anche la forza da cui è prodotto, stanno racchiuse tutte in queste tre espressioni, dalle quali si deducono delle proporzioni, che danno i rapporti delle diverse quantità da cui le equazioni sono costituite, e in questi rapporti consistono le leggi d' un tal moto.

Sia, per esempio, f un'altra forza che imprime alla massa m la velocità u, e le fa descrivere lo spazio s nel tempo t; si avrà egualmente $f=\frac{ms}{t}$, e quindi $F : f :: \frac{MS}{T} : \frac{ms}{t}$; e se sono eguali le masse e gli spazii *le forze saranno in ragione inversa dei tempi*, cioè $F : f :: \frac{1}{T} : \frac{1}{t}$; il che significa che due forze di differente grandezza, per far descrivere alla stessa massa l'eguale spazio, devono agire per tempi inversamente proporzionali alle forze stesse; talchè la forza doppia produrrà lo stesso effetto dell'altra in metà di tempo. Che se invece siano $S=s$, $T=t$, allora sarà $F : f :: M : m$. Di questo principio si è fatto uso nella valutazione della forza permanente

degli esseri animati, essendosi stabilito sempre per lo spazio un chilometro e pel tempo una giornata di lavoro, per cui le forze risultano sempre proporzionali alle masse od ai pesi posti in moto o trasportati (§. 198).

226. Ora siamo in grado di far sentire la nozione esatta dell'eguaglianza di due forze, cioè quando due forze impresse sono fra loro eguali. In alcuni trattati, dopo aver definito *l'equilibrio*, *l'attuale permanenza d'un corpo cagionata da più forze, che scambievolmente si elidono* (§. 180), si soggiunge che *due forze sono eguali quando applicate in direzione opposta ad un punto materiale si fanno equilibrio*. Confrontando le due definizioni, quella relativa alle forze eguali diventa un circolo vizioso. Si è quindi creduto di ritardare quest'ultima definizione dopo le leggi del moto uniforme; ricavandosi da esse che *due forze sono eguali quando, agendo su differenti masse, imprimono a queste delle velocità in ragion reciproca delle masse medesime*; oppure *quando, agendo esse su masse eguali, imprimono a queste la stessa velocità*.

Dalle leggi del moto uniforme si comprende meglio la ragione dell'effetto d'un'esperienza altrove riportata (§. 214). Siano F, f due forze di trazione necessarie a muovere una carrozza sopra una strada selciata colle velocità rispettive V, u: dall'esperienze istituite (§. 213), si ha $F : f :: V : u$; ossia, sostituendo alle velocità i loro valori (§. 221), $F : f :: \frac{S}{T} : \frac{s}{t}$. Che se poi si percorre l'eguale spazio, e sia quindi $S = s$, risulterà $F : f :: \frac{1}{T} : \frac{1}{t}$; da cui $FT = ft$. Si ha dunque che, per fare lo stesso cammino sopra una strada selciata, il maggiore consumo di forza dà proporzionalmente un maggior guadagno di tempo, ed in ogni caso tanto con moto lento quanto con moto celere i prodotti della forza consumata pel rispettivo tempo debbono sempre risultare eguali. Questa proprietà non ha luogo quando la strada è costrutta sopra un terreno cedevole e molle, perchè allora non si verifica la proporzionalità delle forze di trazione colle rispettive velocità (§. 213). In questo caso però, non aumentando la forza colla velocità, anzi sopra una strada sabbionosa rimanendo la trazione la medesima tanto che i cavalli vadano di passo che di trotto (§. 213), si avrà un risparmio di forza andando di trotto nel percorrere lo stesso spazio, guadagnando così in tempo, e si verificherà il vantaggio sperimentato (§. 214).

227. Si vedono spesso dei corpi che, anche con deboli velocità,

Digitized by Google

producono grandi effetti; mentre altri con grandi velocità presentano effetti molto minori. Un carrettone, carico in modo da essere necessario 4 in 5 cavalli per tirarlo, viene ad urtare contro lo spigolo del muro d'una cantonata, quest'urto, quantunque fatto con piccola velocità, smuove la cantonata e fa crollare buona porzione del muro; al contrario lo stesso urto fatto da un bastone con grandissima velocità risulta molto minore. L'effetto nei due casi deve necessariamente essere proporzionale alle forze impresse dai due corpi urtanti: nel primo la forza era espressa dalla velocità 1 per la massa di 8000 chilogrammi, che tale appunto si può valutare quella del carrettone col suo carico, cioè era di 8000 (§. 224); nel secondo la forza era espressa dalla velocità 20 per la massa 1, computandosi il bastone del peso di un chilogrammo, cioè era 20. È dunque evidente che la forza 8000 deve produrre un effetto molto maggiore dell'altra 20.

La cavalleria delle antiche milizie aveva cavalli molto grossi ed armature pesanti, perchè in quei tempi, non essendo ancora conosciuta la polvere da fucile, si approfittava della forza impressa nei corpi, la quale riesce tanto più grande quanto sono maggiori le masse. La cavalleria nell'attacco si scagliava a gran galoppo contro l'inimico, e così cogli elementi della massa e della velocità sviluppava una grande forza (§. 224). Per la stessa ragione un uomo molto grosso e di gran massa, urtandone un altro di piccola statura, può facilmente farlo cadere a terra. Si apprenderà del pari come la forza di trazione dipenda molto dalla massa dell'individuo che tira (§. 196). All'appoggio di ciò si spiega facilmente come un cavallo, essendo attaccato ad un carretto carico, non abbia potuto più tirare il carretto stesso passando da una strada ben mantenuta e consistente sopra una molle e cedevole, ed abbia tosto vinta la maggiore resistenza incontrata col salire sul cavallo stesso l'uomo che ne sorvegliava la condotta. Nel primo caso la forza era misurata dalla massa del solo cavallo moltiplicata per la velocità impressa alla medesima dalla sua forza muscolare; nel secondo invece la forza impressa aveva per misura la somma delle due masse del cavallo e dell'uomo moltiplicata per la stessa velocità. Ne risultava quindi un aumento di forza espresso dal prodotto del peso dell'uomo per la velocità, e con tale aumento si giungeva a vincere la maggior resistenza che presentava la strada.

228. Un corpo, che si muove con una velocità impressa e ne incontra un altro lungo il suo cammino, comunica a questo parte della

sua velocità; e se è in quiete lo pone in movimento, e se esso pure si muove ne altera con tale comunicazione il moto. In tale scontro ha luogo l'urto e la percossa, che subiscono delle modificazioni secondo le qualità fisiche del corpo, di cui parleremo nella seconda parte. Per considerare ora il caso generale della comunicazione del moto indipendentemente dalle qualità particolari dei corpi, supponiamo due di questi corpi che si scontrano fra loro senza che si sviluppi in loro qualche forza come l'elasticità, oppure che possano agire l'uno sull'altro con qualche veicolo intermedio. Uno di essi, movendosi con una velocità impressa, comunicherà all'altro in quiete porzione del suo moto, e lo spingerà finchè ha indotto in esso tanta velocità da progredire avanti col medesimo moto, in quanto che allora il primo non può più accrescere il moto del secondo per avere questo eguale velocità di lui. Il moto guadagnato dal corpo in quiete è tutto a scapito del moto del primo; giacchè quello per la sua inerzia resiste, o reagisce, e si presta con ciò a ricevere il moto dall'altro corpo agente. Se poi ambidue i corpi siano in movimento ha luogo pure una comunicazione di moto, che si fa colla differenza di velocità se l'urtante o l'agente insegue l'urtato o il reagente, e colla somma delle velocità se i due corpi si vengono incontro.

Dalla comunicazione o da questa specie di versamento del moto d'un corpo in un altro, può essere considerata l'inerzia sotto un punto di vista differente da quello che si è press altrove (§§. 187 e 216). Sembrerebbe che l'inerzia non dovesse consistere nè in una resistenza, nè in una indifferenza al moto, derivando una tale resistenza dalla divisione del moto del corpo urtante con l'urtato, che ne era privo o ne aveva meno di esso. In tal caso accade del moto come d'un fluido espansibile contenuto in un vaso, con cui si metta in comunicazione un altro vaso vuoto: il fluido, in virtù della sua espansibilità, s'introdurrebbe nel secondo vaso, finchè si trovasse uniformemente distribuito in ambidue; e del pari il corpo urtante non fa, per così dire, che versare nell'urtato una porzione del suo moto. Nel caso del fluido la capacità è lo spazio compreso dal secondo vaso, nel caso del moto la capacità è la massa del corpo che si scontra con l'altro. Questa seconda capacità però non è accessibile al moto se non vi è resistenza, come la prima non è accessibile se non vi è apertura nel vaso. Dunque l'inerzia, considerata anche sotto questo punto di vista, viene ancora a combinare coll'idea di resistenza e quindi d'indifferenza che ne è la cagione. La resistenza o la reazione, che nasce dall'inerzia, non è effettiva che

in quanto consuma la forza o l'azione, ed è determinata da essa; ed all'inverso, l'azione non è efficace che in quanto trova la reazione, da cui viene esaurita. L'una e l'altra di queste quantità hanno una tale reciproca dipendenza che sono regolate dalla stessa legge e valutate nella stessa maniera. È appunto per ciò che la reazione è eguale e contraria all'azione (§. 218).

La comunicazione di moto dichiarata ha luogo quando i corpi sono isolati da quelli circostanti e dal globo terrestre; giacchè, se riposano o siano collegati con altri corpi, il moto comunicato si versa e si diffonde anche in quei corpi, nello stesso modo che nel versamento del fluido il secondo vaso fosse in comunicazione con altre capacità. Siccome poi la massa del globo si può considerare infinitamente grande relativamente ai corpi in moto su di esso; così, nel caso che il corpo urtato riposi sulla terra, allora il moto trova una capacità infinitamente grande dove diffondersi, per cui si disperde in essa e non se ne riconosce più veruna traccia sensibile.

229. Si abbiano due corpi A, B, le cui masse rispettive siano M, m, che per comunicarsi il moto supporremo congiunte con un filo inestendibile, affine d'evitare l'idea che nello scontro per tale comunicazione possa svilupparsi qualche forza, come l'elasticità. Il primo A sia dotato della velocità V impressa nella direzione del filo, e l'altro B della velocità $\pm u$, ponendo il doppio segno per dinotare quando la velocità u abbia la direzione nello stesso o in contrario verso della V. Egli è chiaro che i corpi A, B possono essere tanto solidi che fluidi contenuti in vasi appositi. I due corpi, avanti di agire l'uno sull'altro per mezzo del filo di congiunzione sia che B insegua A oppure sfugga da esso, avranno rispettivamente le quantità di moto MV, $\pm mu$ (§. 224); ma dal momento che sono dotati di queste forze, l'uno agirà sull'altro per variare le loro velocità e comunicarsi del moto. Se il corpo B si muove nello stesso verso di A, questo, come dotato di maggiore velocità V, tirerà B e gli comunicherà successivamente nuovi gradi di velocità, sinchè giungono ad averla eguale; a questo punto A non potrà comunicare ulteriori gradi di velocità a B nè riceverne, e cammineranno quindi di conserva senza veruna alterazione del nuovo loro moto. Che se il corpo B abbia una velocità contraria a quella di A, questo eliderà la velocità dell'altro e in seguito gli comunicherà tanta velocità nel proprio verso, sinchè giungono a possedere la medesima velocità, dopo cui i due corpi andranno di conserva come nel precedente caso.

Sia ora x la velocità comune ai due corpi A, B dopo aver agito e

reagito l'uno sull'altro: è chiaro che in questo caso la quantità di moto del primo sarà Mx, e quella del secondo mx. Siccome poi le quantità totali di moto debbono essere eguali prima e dopo la reciproca azione o comunicazione, dovendo per la legge generale del moto (§. 218) la quantità di moto perduta dall'uno essere guadagnata o impressa nell'altro corpo; così si avrà l'equazione $Mx+mx=MV\pm mu$, da cui si ricava facilmente il valore della velocità comune $x=\frac{MV\pm mu}{M+m}$. Il che significa in linguaggio volgare che la *velocità comune ai due corpi è eguale alla somma delle loro quantità primitive di moto divisa per la somma delle loro masse.*

Per avere la quantità di moto che si comunica dal corpo A all'altro B, ossia la quantità di moto di cui il primo viene spogliato e trasfonde nel secondo, basterà levare dalla MV, di cui A era prima dotato, l'altra $Mx=M\left(\frac{MV\pm mu}{M+m}\right)$ rimastagli, per avere la perduta o trafusa y; oppure levare la quantità $\pm mu$, posseduta prima da B, dalla $mx=m\left(\frac{MV\pm mu}{M+n}\right)$ composta del moto guadagnato e di quello dapprima posseduto. Si avranno quindi le due equazioni

$$y=MV-M\left(\frac{MV\pm mu}{M+m}\right);\ y=m\left(\frac{MV\pm mu}{M+m}\right)\mp mu;$$

dalle quali si ricava lo stesso valore $y=\frac{Mm(V\mp u)}{M+m}$; cioè *la quantità di moto trasfusa eguaglia il prodotto delle due masse moltiplicato per la differenza delle velocità e diviso il risultato per la somma delle stesse masse.*

Da questi risultati del calcolo si deducono alcune conseguenze, che importa di far conoscere. Se il corpo B è in quiete avanti l'azione di A, sarà $u=o$, e quindi $x=\frac{MV}{M+m}$; e se inoltre la massa di B possa considerarsi infinitamente grande in confronto di quella di A, in modo da ritenersi $m=\infty$, allora risulterà

$$x=\frac{MV}{M+\infty}=\frac{MV}{\infty}=0$$

vale a dire che non succederà verun moto sensibile. Egli è per tal ragione che, essendo un corpo A congiunto col globo terrestre B, che può considerarsi di massa m infinitamente grande relativamente

a quella finita M, quantunque abbia A una velocità impressa, dopo l'azione tanto in questo come nel globo non comparisce verun movimento. Quando poi $M=m$, si ha $x=\frac{V\pm u}{2}$, cioè *la velocità comune eguaglia la semisomma di quelle possedute dai due corpi avanti la comunicazione del moto.* Nel caso poi di $u=o$, e di $M=m$ è la quantità di moto trasfusa $y=\frac{MV}{2}$, cioè *il corpo agente comunica metà del suo moto al reagente.* Se i corpi A, B abbiano velocità contrarie V e $-u$ e tali che esse siano in ragione reciproca delle loro masse, cioè $V : u :: m : M$, da cui si ha $MV=mu$, allora sarà la velocità comune $x=\frac{MV-mu}{M+m}=o$; cioè *i due corpi rimarranno in quiete.* Infine l'equazione superiore $x=\frac{MV\pm mu}{M+m}$ si può scrivere sotto quest'altra forma $Mx+mx=MV\pm mu$, ossia $m(x\mp u)=M(V-x)$ che dà la proporzione $V-x : x\mp u :: m : M$. Siccome poi $V-x$ esprime la velocità perduta da A, ed $x\mp u$ quella guadagnata da B; così ne risulta che *la perdita di velocità del corpo agente e quella guadagnata dal reagente sono nella ragione inversa delle rispettive masse.*

230. Una forza continuata, che agisca sopra un corpo appoggiato saldamente al globo terrestre, non sia capace, nel primo istante della sua azione, di vincere la coesione delle parti del corpo stesso: per quanto la forza non cessi d'agire e ad ogni istante cerchi d'imprimere in quel corpo del moto, questo nello stesso istante si trasfonde e si disperde nell'infinita massa del globo e non si accumula con quello dell'istante precedente, per cui non si produce nel corpo verun effetto. È questa una conseguenza di quanto si è esposto nel precedente paragrafo intorno alla velocità comune dell'agente e del reagente. Si abbia, per esempio, una massa pesante parecchi chilogrammi, che riposa sul mezzo d'una tavola sorretta agli angoli da quattro piedi: per quanto la gravità della massa seguiti in ogni istante ad imprimere moto alla tavola, questa per mezzo dei piedi, coi quali appoggia sul globo terrestre, lo trafonde nel globo stesso dove si disperde e non si ha verun movimento. Ma se si dà tempo alla forza continuata della gravità di accumulare nella massa impellente un certo numero di gradi di velocità, la tavola potrà essere spezzata vincendo la coesione delle parti colpite ed imprimendo loro

del moto, prima che queste abbia tempo di comunicarsi pei piedi al globo e disperdersi nell'immensa sua mole. L'esperienza comprova questa deduzione: infatti se la massa pesante si porti ad una certa altezza, dalla quale si lascia cadere sul mezzo della tavola, la gravità durante la caduta comunicherà nelle migliaia o nei milioni d'istanti nuovi gradi di moto alla massa, che si accumuleranno in essa e giungerà a percuotere la tavola con un tal impeto che la spezzerà, vincendo la coesione delle parti ed imprimendo loro del moto, il quale non ha tempo di trafondersi o disperdersi pei piedi nella immensa mole del globo terrestre.

Da questo esperimento si deduce che per comunicare del moto a tutta la massa d'un corpo, quale nel nostro caso è la tavola coi suoi piedi, è necessario un certo tempo, il quale, per quanto brevissimo possa essere, deve pure esistere onde la velocità impressa alle molecole toccate si diffonda a tutte le altre rimanenti del corpo. Si osservi altresì che un corpo per un'azione subitanea non acquista istantaneamente una velocità finita; ma la forza, per quanto sia vigorosa, ha bisogno d'un tempo, ancorchè brevissimo, per fare transitare il corpo per tutti i gradi intermedii di velocità, sino a quello che poi conserva costante per la sua inerzia, dopo che è stato abbandonato dalla forza. Questo principio è fecondo d'applicazioni a spiegare parecchi fenomeni, che andremo qui dichiarando.

231. Che sia necessario un certo tempo per essere comunicata la velocità a tutte le altre molecole della massa, le quali non ricevono direttamente l'impulsione, si scorge anche in due cavalli disposti a tirare un carro ben carico, che impiegano un tempo sensibile a metterlo in movimento, per comunicare cioè la velocità a tutte le parti del carro e del carico, onde farlo trascorrere sul suolo. Se poi la forza è tale che comunichi tanta velocità alle molecole che tocca da vincere in un istante la coesione per cui queste stanno unite al corpo, la velocità non avrà tempo di diffondersi nelle altre molecole, e la rimanente massa non concepirà alcun movimento: imperocchè le molecole colpite dalla forza vennero staccate dal corpo. Così i due cavalli, impiegando con prestezza la loro forza per smuovere il carro, romperanno le tirelle senza fargli concepire verun movimento. Ecco altri fatti che dipendono dallo stesso principio.

1. Una palla, lanciata con gran forza da uno schioppo contro una lastra di vetro, investe di tale e tanta velocità le molecole colpite che, vincendo la coesione per la quale stavano unite alle altre, le stacca all'istante senza che si comunichi moto alla lastra e venga così a sere-

polare e a rompersi. Se la carica dello schioppo è debole, allora il fenomeno non ha luogo, dandosi tempo al moto di essere comunicato a tutta la lastra. L'esperienza si istituisce in una scuola col fucile a vento.

II. Un usciale di legno o una banderuola di latta, che facilmente possono girare attorno ai loro perni, rimangono immobili venendo attraversati dalla palla d'una pistola scaricata da vicino contro di loro. Questo fenomeno dipende dal non aver il moto avuto tempo di comunicarsi a tutte le molecole dell'usciale o della banderuola, tanta era la velocità della palla che vinse la coesione, e ne staccò le molecole urtate.

III. Un bastone ben secco e terminato a punte ai appoggi per le sue estremità sopra due bicchieri pieni d'acqua posti su due tavole; se indi con una robusta mazza si dia un colpo sul mezzo del bastone, esso sarà spezzato in due parti nel sito ove ricevette la percossa, senza che i bicchieri e l'acqua ricevano movimento, e le punte del bastone, quantunque sottili, vengano rotte. Questo dipende dall'essere state le particelle toccate dalla mazza investite di tale e tanta velocità, che prima dello spezzarsi del bastone il moto non ha avuto tempo di comunicarsi alle estremità del medesimo per rompere le punte, infrangere i bicchieri e spargere l'acqua in essi contenuta.

IV. Si dispongano in colonna sopra una tavola delle monete, per es. parecchi scudi, e col filo d'un coltello si percuota orizontalmente il bordo di una delle medesime: se il colpo dato col coltello è bastantemente gagliardo, la moneta percossa può acquistare tanta velocità da sfuggire dal mucchio senza che il moto si comunichi alle altre.

I precedenti fatti sono altrettante prove sperimentali del principio su nominato, da cui dipendono parecchi altri fenomeni, alcuni de quali verremo qui esponendo.

232. Ad un filo A di lino o di altra materia della tenacità, per esempio, di 3 chilogrammi facile ad essere rotto con un tratto della mano, si appenda un grave del peso minore di quella tenacità, per esempio di chilogrammi 2,90, e al di sotto di questo peso sia attaccato un eguale filo B. Tirando *lentamente* il filo B, si rompe, come è chiaro, il filo A. Ma dando un *violento tratto* al filo B, questo si rompe a malgrado della maggiore resistenza che presentava in confronto di quella rimanente al filo A. In questo secondo caso il moto non ha avuto tempo di comunicarsi al filo A.

Sopra un guscio d'una bilancia si ponga un peso, per esempio un

chilogrammo, ed all'altro guscio si attacchi un filo di maggior tenacità di quel peso, per esempio di 3 chilogrammi. Tirando *lentamente* il filo, il chilogrammo viene sollevato senza che esso si rompa, avendo una maggiore tenacità; ma se si *dà un colpo violento al filo*, questo si rompe senza sollevare il peso e senza far traboccare la bilancia dalla parte opposta ad esso.

Si sospenda con un filo una palla di metallo, inferiormente alla quale sia attaccato un altro filo eguale al primo, e si faccia oscillare la palla a guisa d'un pendolo. Dando un tratto violento di mano al secondo filo nella direzione del moto oscillatorio, il filo medesimo si rompe senza aumentare l'arco di oscillazione; tirando il filo nello stesso modo in verso opposto, si rompe egualmente senza diminuire poco o nulla l'arco di oscillazione.

233. In generale, quando la velocità è grandissima, invece d'essere il moto comunicato da molecola a molecola, da massa a massa, le parti che ricevono direttamente l'impulsione sono separate nel sito, ove il corpo è colpito. Appunto per ciò un grosso martello, che si appoggia con poco moto sopra un chiodo, non è capace di conficcarlo maggiormente in un asse; mentre un martello di massa ben anche molto minore, mosso con grandissima velocità, lo fa entrare nel legno, e ciò ben anche se la quantità di moto, o il prodotto della massa per la velocità (§. 224), del secondo martello sia minore di quella del primo.

Se la capocchia del chiodo sia imbottita d'una materia soffice e cedevole, in maniera che questa, ritirandosi all'atto della percossa, divida l'azione del martello sul chiodo e dia così tempo al moto di diffondersi gradatamente nei corpi circostanti ed estinguersi in essi; allora, per quanto siano energici e poderosi i colpi del martello, il chiodo non acquista tanti gradi di velocità riuniti in una sol volta per entrare nella tavola di legno.

Sembra che scaturisca dagli stessi principii la spiegazione d'un altro fenomeno. Un disco di ferro dolce fatto ruotare con grandissima celerità sull'asse del torno, se si presenta alla sua periferia un pezzo d'acciaio temprato che è molto duro, questo viene intaccato e tagliato, quasi a somiglianza del legno colla sega (1). Sono gli infiniti punti della periferia di ferro che si presentano agli stessi punti dell'acciaio, e gli urti delle parti successive del ferro, quantunque non siano atti da per sè a vincere la coesione delle particelle d'acciaio,

(1) Vedi *Bibliothèque universelle* di Ginevra, tom. XXIX, pag. 162.

si succedono però con tale rapidità che l'azione delle parti seguenti del ferro si accumula colle prime, e così riunite vincono la maggior forza di coesione dell'acciaio. Osserviamo però che il fenomeno potrebbe, almeno in parte, dipendere dal riscaldamento che si produce in quel rapidissimo sfregamento, per cui si togliesse all'acciaio la tempra, da cui riceve la durezza e quindi diventasse più facile ad essere intaccato dal ferro.

234. Un altro fenomeno, che si riferisce a queste dottrine, è quello dello spezzarsi delle canne da fucile. Quando le polvere, nelle scariche, agisce colla massima energia, di cui è capace, non vi sarebbe pezzo d'artiglieria sì forte che non si fendesse al primo colpo. Ciò non avviene, primieramente perchè la palla non tura mai esattamente la luce del pezzo; in secondo luogo perchè la polvere s'infiamma bensì rapidamente, ma non istantaneamente in tutte le sue particelle, onde succede che, non sì tosto la porzione di polvere da prima accesa ha allontenato l'ostacolo, la porzione seguente, accendendosi in uno spazio meno angusto, esercita uno sforzo minore, e così delle porzioni successive sino all'ultimo strato. Da qui si comprende quanto sia difficile determinare in teorica la forza di proiezione della palla.

I mezzi migliori quindi ad avvalorare, ove sia d'uopo, la forza della carica sono diretti a far sì che l'obice chiuda esattamente la polvere, ed al primo scoppio di questa cede lentamente, dandolo tempo d'accendersi per intero prima che lo spazio notabilmente s'ingrandisca. Da ciò dipende l'efficacia della pratica introdotta per ispezzare le roccie a forza di polvere, la quale pratica consiste nel chiudere il meato delle mine con fina sabbia senza comprimerla (1).

235. Appartengono alla dottrina della comunicazione del moto alcuni fatti ottenuti da Brunacci, quantunque egli li abbia pubblicati sotto il titolo di *sperienze idrauliche* (2). Caricò un fucile comune con palla di piombo d'un'oncia di peso (3) e con 1|24 d'oncia di polvere, e posto verticalmente lo scaricò contro l'acqua contenuta in un piccolo tino, al di sotto della superficie della quale stava sommersa orizontalmente una tavola di legno. La palla, urtando l'acqua, non giunse ad intaccare la tavola, non si è schiacciata e neppure ammaccata. Portata la carica ad 1|8 d'oncia di polvere, la palla si è inca-

(1) *Bibliothèque britannique* di Ginevra, tom. XXIII.

(2) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli, tom. III, 1810, pag. 157.

(3) L'oncia della libbra di Pavia, di cui si tratta, è di grammi 26, 6.

strata quasi per intero nella tavola, non si è schiacciata nè ammaccata, e il tino ha provato uno sfiancamento. La polvere venne accresciuta ad 1|4 d'oncia, e nella scarica la palla ha trapassato da banda a banda la tavola, non è stata schiacciata nè tampoco ammaccata, e il tino ha sofferto un maggior sfiancamento. La carica si è aumentata a 1|2 oncia, e con essa il proiettile ha prodotto soltanto una lieve contusione sulla tavola, è stato schiacciato prendendo la forma di mezza sfera, il tino ha avuto un maggiore sfiancamento. La polvere si accrebbe ad 1 oncia, e la palla, come nella prima sperienza, non giunse ad intaccare la tavola, si è interamente schiacciata col suo contorno lacerato, essendosene staccati alcuni pezzi rinvenuti al fondo del tino; lo sfiancamento fu così gagliardo che si ruppe uno dei quattro cerchi, da cui era fasciato. Le sperienze, principalmente quest'ultima, vennero più volte ripetute.

Analizzando le cinque sperienze si trova che nella prima il moto del proiettile, non essendo abbastanza grande, veniva tutto estinto dall'acqua prima di giungere sulla tavola; che nella seconda, essendosi il moto accresciuto, gliene rimaneva in quantità da intaccare la tavola medesima; che nella terza il proiettile aveva tanto moto da superare l'ostacolo dell'acqua e restargliene a sufficienza per trapassare l'asse di legno. Si osservi che in ognuno di questi effetti la palla non ha provato verun schiacciamento. Nella quarta sperienza il piombo ha ceduto, e le parti urtanti il liquido si sono ritirate producendo lo schiacciamento della palla per metà. In questo ritirarsi del piombo per istanti successivi il moto ha avuto tempo di diffondersi e disperdersi nei corpi circostanti prima che la palla giungesse a colpire la tavola, per cui l'effetto su questa è risultato minore quantunque la carica fosse maggiore di quelle precedenti, ed al contrario lo sfiancamento del tino e l'effetto sul liquido è stato più poderoso. Nella quinta prova la palla ha subito uno schiacciamento ancor maggiore, per cui maggior tempo per la comunicazione e quindi dispersione del moto nelle masse dei corpi circostanti, e il proiettile è giunto sulla tavola senza averne abbastanza per intaccarla. Si osservi altresì che l'acqua, a malgrado d'essere nelle sue molecole così cedevole, è stata capace di resistere al piombo e di lacerarlo in parte, non avendo avuto tempo le molecole di essa direttamente colpite di cedere a quella forza così violenta. Con una palla d'acciaio, accrescendosi successivamente le cariche, non succede quell'invertimento d'effetti sulla tavola.

236. Da quanto si è finora esposto si ricava che un corpo consi-

Digitized by Google

stente e duro è più facile a ricevere movimento che uno cedevole e molle. Imperocchè in quest'ultimo caso le molecole, che ricevono immediatamente l'impulsione, cedono facilmente prima che il moto si comunichi a tutta la massa del corpo. Dunque l' opposizione di materie soffici impedisce in gran parte l'effetto dei corpi anche più impetuosi. Così una palla da cannone, lanciata con velocità, farà crollare un edifizio se ne colpisca una parte consistente e dura; mentre, se la parte colpita è molle o fragile, ne distaccherà le molecole toccate senza danneggiare l'intero fabbricato. Per la stessa ragione una lastra di vetro è rotta se venga urtata da un'oncia di piombo; e non lo è se sia percossa anche con maggior impeto da una libbra di bambagia. Inoltre una barca non si rompe urtandone un'altra che cede e si ritira; e si rompe venendo ad urtare anche con minor impeto contro uno scoglio di pietra.

La cedevolezza del corpo urtato estingue grado per grado il moto dell'urtante, e questi gradi parziali così divisi non hanno più efficacia sul corpo colpito, il quale, a misura che sono da lei ricevuti, li trasmette nelle masse circostanti e in quella del globo senza poter riunirsi agli urti successivi e formare un solo ed energico conato. Supponiamo una palla lanciata con velocità, cui per arrestarla si opponga la mano; questa riceverà in tale scontro un urto più o meno forte secondo il grado di velocità della palla, la quale squarcierebbe la mano stessa quando avesse il moto comunicatole da un fucile ben carico. Tuttavolta colla mano si arresterebbe l'impeto della palla senza provare verun danno, se la mano stessa si ritirasse opponendosi grado a grado e levando soltanto in ogni istante al proiettile una piccola porzione della sua forza. Abbia, per es., la palla, al momento dello scontro, 1000 gradi di forza, ciascuno dei quali può essere estinto dall'opposizione della mano senza essere danneggiata: egli è chiaro che contrastando la mano nel primo istante con un grado di forza e nel secondo con un altro grado, e così successivamente d'un grado ritirandosi sempre dall'intero impeto del proiettile, estinguerà quei 1000 gradi senza provare verun danno. Nell'esperienza precedente di Brunacci, è il corpo urtante che ha ceduto per lo schiacciamento della palla, essendosi le parti urtanti ritirate successivamente in maniera che il moto è stato estinto per gradi e il proiettile è giunto sulla tavola senza avere più veruna forza capace a produrre l'effetto, che si aveva quando non succedeva lo schiacciamento.

Lo stesso avviene colla berta o battipalo, che serve a conficcare

grossi pali nel terreno lasciando cadere su di essi un gran ceppo ferrato in testa. Supponiamo che al primo colpo la berta conficchi il palo nel terreno per 7 centimetri, e che per produrre l'eguale effetto nello stesso terreno, sia necessario di sovrapporre al palo qualche milione di chilogrammi, i quali operino senza moto precedente e per sola pressione. Sembrerebbe qui che la forza di percossa avesse qualche milione di chilogrammi per misura, in quanto che si ha lo stesso effetto in ambidue i casi. Ma mentre il peso di qualche milione di chilogrammi non è capace di conficcare più oltre la palafitta per qualunque tempo riposi su di essa, il ceppo della berta, elevato alla stessa altezza di prima, la ricaccia nella sua caduta per un altro tratto, per es. di 5 centimetri. Anzi una terza percossa del ceppo produrrà un terzo sprofondamento del palo, per e. di 4 centimetri. E siccome, reiterando i colpi della berta sopra il palo, per ciascheduno viene ricacciandolo continuamente più e più come mostra la sperienza in simili lavori; così si fa chiaro che i conseguenti colpi producono qualche effetto. La percossa va dunque sempre aumentando nel suo effetto; ed invece di qualche milione di chilogrammi come nel primo colpo, nei successivi sarà misurata da parecchi milioni di chilogrammi. Come mai l'egual percossa, prodotta dalla stessa massa che cade dalla medesima altezza, dà per risultato un effetto sempre più grande, egualmente come avviene nell'urto del martello contro il chiodo? Galilei diceva, con molto senno, *che la misura della forza della percossa si deve prendere non dal corpo che percuote, ma più presto da quello che la percossa riceve* (1). Infatti la percossa è sempre la medesima, ha sempre l'egual forza nel caso da noi contemplato; e se ad ogni istante la berta produce un effetto sempre crescente, ciò dipende dalla maniera con cui resiste l'oggetto percosso. Al primo colpo il palo cede al corpo percuziente ritirandosi collo sprofondarsi nel terreno di 7 centimetri; al secondo si ritira soltanto di 5 centimetri; al terzo ancor meno, e così al quarto, al quinto e nei successivi colpi il palo va sempre meno cedendo al moto, che gli comunica il ceppo della berta. Da questa diversa cedevolezza, da questo sfuggire più o meno del corpo percosso ai colpi del percuziente si è veduto che dipende il minor o maggior moto che si comunica tutto riunito al corpo percosso senza disperdersi successivamente nelle

(1) Alle volte la cedevolezza può essere propria del percuziente, come nelle sperienze di Brunacci (§. 255), e perciò la proposizione di Galilei non è generale.

masse circostanti e nel globo terrestre. Dunque l'effetto sempre crescente della percossa nel secondo colpo e nei successivi non dipende dall'essere la forza maggiore, ma dalla minore cedevolezza dell'oggetto che riceve l'urto, per cui al moto comunicato resta sempre minore tempo di disperdersi e quindi può agire riunito con maggior conato sul palo. Chi per rompere una noce la percuotesse sopra un cuscino di lana e di crine, troverebbe nella cedevolezza di questo una difficoltà allo spezzamento; poichè col cedere e col sottrarsi della cosa frangibile si dà tempo alla forza del colpo di dividersi o di non agire riunita sul corpo percosso, ed al moto di distribuirsi e disperdersi per gradi nelle masse circostanti.

237. Nella stessa maniera che i corpi cedevoli sono i meno atti a ricevere tutti riuniti i conati d'una percossa; essi riescono i più proprii per estinguere il moto ed arrestare l'impeto d'altri corpi. Egli è per ciò che nella moderna fortificazione non si fanno le bastite con pietra dura; perchè l'esperienza mostra che le artiglierie offendono assai più le materie consistenti e dure, come le pietre, di quelle molli e cedevoli, come la terra. Per la stessa ragione nelle città fortificate, durante l'assedio, si leva il lastricato di pietra dalle contrade più esposte alle artiglierie, perchè le palle e le bombe trovino nel nudo terreno un mezzo per estinguerne l'impeto.

Narrano alcuni scrittori che, quando con quella antica machina da guerra, detta ariete, fatta d'una grossa trave di legno colla testa di bronzo, venivano percosse le porte e le mura delle città, i difensori calavano giù gran sacchi ripieni di materie cedenti, le quali interponendosi e ritirandosi sotto ogni colpo, estinguevano a poco a poco qualsivoglia grandissimo impeto e salvavano la porta e la muraglia dalle offese. Questo spediente è stato posto in opera, al tempo dell'assedio di Firenze, da Michelangelo Buonarroti, pel campanile di S. Miniato, bersagliato dalle palle delle artiglierie nemiche. L'edifizio prova un crollo in tutte le sue parti, se viene energicamente percosso nel sito dove è fatto di materia dura.

Egli è per ciò che, trattandosi d'arrestare un corpo che si muove con grandissima velocità, è necessario opporgli grado a grado una reazione, secondandone il moto in principio; perchè operando altrimenti, o si potrebbero distaccare dal corpo le parti a cui vien applicata la forza che deve arrestarne il movimento, oppure si potrebbe rompere l'ordigno o la machina con cui la forza medesima comunica la sua azione al corpo da fermarsi. I barcajuoli hanno imparato dall'esperienza questo principio, giacchè essi per fermare con una fune

una barca, trasportata dall'impeto della corrente, si oppongono a poco a poco al moto della medesima; mentre se essi l'arrestassero tutto ad un tratto, o si svellerebbe l'uncino della barca a cui è attaccata la fune, o questa si romperebbe.

238. Ora s'intenderà meglio come una lastra di vetro venga infranta dall'urto d'una piccola pietra lanciata contro di essa; mentre non si rompe se è urtata anche con maggior velocità da una massa più grande di bambagia (§. 236). Parimenti una barca non viene molto danneggiata urtandone un'altra che cede e si ritira; mentre viene conquassata se va ad urtare contro uno scoglio di pietra. Così una carrozza o un carro che trascorra con rapidità sopra un terreno cedevole attiguo ad una casa, non comunica a questa verun moto; ma se il terreno è lastricato, o è consistente e duro, come nella rigida stagione pel gelo, gli effetti del moto si comunicano alle parti di quell'edifizio, che ne risente delle scosse tanto più forti quanto è più grande la velocità e il carico della carrozza o del carro, cioè quanto è più grande la forza urtante (§. 224).

S'intende anche come con un fazzoletto od un pannolino, appeso con funicelle pei suoi canti, si possa arrestare, senza trapassarlo, una palla da fucile lanciata contro di esso ad una certa distanza. L'esperienza può essere istituita in una scuola col fucile a vento. Ma se il colpo ha gran forza ed è fatto a breve distanza, a malgrado della grande cedevolezza del fazzoletto, si può trapassarlo colla palla.

Quando uno cammina sopra un terreno cedevole, come estesi letti di torba, bisogna che si muovi con passo lesto e celere per non dar tempo al terreno di cedere e al piede di sprofondarsi. Se si potesse sollevare il piede con grandissima rapidità prima che il corpo cedevole avesse tempo di ritirarsi, potrebbe una persona camminare sull'acqua senza affondare e così attraversare un lago senza la barca. Nelle sperienze di Brunacci si è veduto l'acqua, a malgrado della sua cedevolezza, lacerare la palla di piombo da cui era colpita (§. 235).

Saltando un uomo dall'alto sopra un terreno consistente, deve avere l'avvedutezza di mettere a terra la punta dei piedi, la quale nel piegarsi dà tempo alla percossa di disperdersi prima che i taloni giungano a riceverla ed a comunicarla con grave danno a tutta la massa del corpo. I gatti mettono in pratica appunto un tal principio per evitare gli effetti pericolosi della percossa, saltando dal tetto d'una casa sul suolo sottoposto: essi procurano di mettere avanti i piedi e di appoggiarli pei primi sul terreno, piegandoli gradatamente per divi-

dere così la percossa in tante semplici pressioni. Le molle poste alle carrozze producono l'egual effetto (§. 175).

239. Si è detto che il moto è uniforme e variabile (§. 220): del primo si sono fatte conoscere le leggi (§. 225); il secondo poi, quando sia soggetto a variazioni determinate, ha pure le sue leggi. I moti variabili appartenenti a questa categoria sono, *l'uniformemente accelerato* e *l'uniformemente ritardato*. Per avere questi due moti è necessaria l'azione d'una *forza continuata* o *motrice costante*, vale a dire che essa durante la sua azione non cresca nè scemi. In questo caso, la forza agendo sempre con eguale intensità, comunica o leva al mobile in eguali istanti lo stesso grado di velocità, e gli fa quindi percorrere in tempi eguali spazi con qualche legge costante ineguale.

Se una di tali forze valga ad imprimere al corpo durante qualunque tempo un certo grado di velocità, la medesima forza gli imprimerà lo stesso grado di velocità durante il secondo tempo eguale al primo; gl'imprimerà lo stesso grado nel terzo tempo eguale pure al primo, e così via via pei tempi successivi ed eguali. E giacchè la velocità, acquistata dal mobile in ognuno di quei tempi, è in esso perpetuata (§. 216); così vi si accumula e coopera con quelle debite ad ognuno degli eguali tempi che si succedono, in modo che la velocità, da cui sarà animato alla fine del secondo tempo, risulterà doppia, quella che lo solleciterà alla fine del terzo tripla, l'altra alla fine del quarto quadrupla, e così progredendo. La velocità posseduta dal corpo nell'ultimo tempo del suo moto, chiamasi *velocità finale*; mentre quella, che riceve nel primo istante d'azione dalla forza continuata costante, prende il nome di *velocità iniziale*.

Sia u la velocità acquistata nell'unità di tempo t da un mobile, quella nel tempo $2t$ sarà $2u$, in $3t$ risulterà $3u$ ecc. e nel tempo nt verrà ad essere nu. Se quindi v, w sono due velocità acquistate dal corpo nei tempi τ, θ, i quali abbiano per misura comune l'unità t, essendo $\tau = pt, \theta = qt$; dovrà essere $v = pu$, $w = qu$, essendo u l'unità di velocità. Le equazioni precedenti somministrano la proporzione $\tau : \theta :: pt : qt$, ossia $\tau : \theta :: p : q$; e $v : w :: p : q$; dalle quali si deduce $v : w :: \tau : \theta$, cioè *le velocità finali sono in ragione dei tempi impiegati ad acquistarle*. Questa verità si dimostra anche nel caso che τ, θ siano incommensurabili fra loro.

Chiamando con g la velocità iniziale corrispondente all'unità di tempo, si avrà $V : g :: T : 1$, da cui si ricava $V = gT$, cioè *la velocità finale eguaglia il prodotto di quella iniziale pel tempo*. Che se, prima

dell'azione della forza motrice costante, il mobile sia già fornito della velocità C, allora risulta $W=C+gT$.

240. Per avere i rapporti degli spazii, s'indichi con S quello percorso dal mobile nel tempo T con moto rettilineo ed uniformemente accelerato; e sia inoltre C la celerità al momento dell'azione della forza o al principio del tempo T, e V quella che acquista in tale tempo. Il mobile dopo il tempo T avrà la velocità C+V. Ora si divida il tempo T in un numero n di parti eguali, e siano $s'\ s''\ s'''\ldots s^{(n)}$ gli spazii percorsi successivamente in queste eguali parti di tempo. Nel tempo $\frac{T}{n}$ agisce la forza continuata costante e la celerità C, di cui è già fornito il corpo: se il mobile camminasse colla sola velocità C, lo spazio, percorso in questa parte $\frac{T}{n}$ di tempo, sarebbe eguale a $\frac{CT}{n}$ (§. 221); ma nel nostro caso lo spazio s', per l'azione simultanea della forza motrice, deve essere maggiore di $\frac{CT}{n}$, perciò si avrà l'ineguaglianza $s'>\frac{CT}{n}$. Parimenti il secondo spazietto s'' descritto pure nel tempo $\frac{T}{n}$, se non agisce la forza motrice, sarebbe quello dovuto alla celerità C, e $\frac{V}{n}$ acquistata nel primo tempo, cioè sarebbe $\frac{CT}{n}+\frac{VT}{n^2}$; ma il corpo descrive uno spazio anche in virtù della forza motrice, perciò sarà $s''>\frac{CT}{n}+\frac{VT}{n^2}$. Si dimostra egualmente essere $s'''>\frac{CT}{n}+\frac{2VT}{n^2}$; $s''''>\frac{CT}{n}+\frac{3VT}{n^2}$ ecc. ecc., e in generale $s^{(n)}>\frac{CT}{n}+\frac{(n-1)VT}{n^2}$. Essendo S eguale alla somma di $s',\ s'',\ s''',\ s''''\ldots\ldots s^{(n)}$, sarà $S>CT+\frac{VT}{2}-\frac{VT}{2n}$.

Osserviamo inoltre che $s'<\frac{CT}{n}+\frac{VT}{n^2}$: perciocchè sarebbero queste due grandezze eguali se la velocità $\frac{V}{n}$ fosse posseduta dal corpo al principio del tempo $\frac{T}{n}$ e si movesse colla somma della velocità

$C+\frac{V}{n}$, quando invece la velocità $\frac{V}{n}$ è posseduta dal corpo dopo trascorso il tempo $\frac{T}{n}$. Nella stessa maniera si prova essere $s''<\frac{CT}{n}+\frac{2VT}{n^2}$ $s'''<\frac{CT}{n}+\frac{3VT}{n^2}$; $s''''<\frac{CT}{n}+\frac{4VT}{n^2}$, ed in generale $s^{(n)}<\frac{CT}{n}+\frac{nVT}{n^2}$ Perciò, sommando tutti i singoli spazii, si avrà $S<CT+\frac{VT}{2}+\frac{VT}{2n}$. Si verificano quindi le due ineguaglianze:

$$S>CT+\frac{VT}{2}-\frac{VT}{2n};\ S<CT+\frac{VT}{2}+\frac{VT}{2n};$$

e ciò qualunque sia n o il numero delle parti in cui si è diviso T. Ora per essere vere le dette due ineguaglianze qualunque sia n, deve essere $S=CT+\frac{VT}{2}$. Imperocchè sia, se è possibile,

$$S<CT+\frac{VT}{2}:$$

avendosi dalla prima ineguaglianza $\frac{VT}{2n}>CT+\frac{VT}{2}-S$, il cui secondo membro esprime una quantità positiva e reale; e d'altronde il primo membro $\frac{VT}{2n}$ può impicciolire coll'aumentare n in modo da divenire maggiore di qualunque quantità assegnabile, senza per nulla disturbare le relazioni superiori; perciò non potrebbe sussistere $\frac{VT}{2n}>CT+\frac{VT}{2}-S$, ed essere $S<CT+\frac{VT}{2}$. Parimenti non può essere $S>CT+\frac{VT}{2}$: giacchè dalla seconda delle ineguaglianze superiori si ha $\frac{VT}{2n}>S-CT-\frac{VT}{2}$, il cui secondo membro in questa seconda ipotesi esprime una quantità positiva e reale. Ma $\frac{VT}{2n}$ può diventare minore d'ogni quantità assegnabile, senza che siano men vere le relazioni trovate; dunque non potrebbe sussistere nella nostra ipotesi quell'ineguaglianza, quando fosse $S>CT+\frac{VT}{2}$. Non potendo essere S nè maggiore nè minore della grandezza $CT+\frac{VT}{2}$, bisogna che le sia eguale, e sarà quindi $S=CT+\frac{VT}{2}$. Quando al princi-

pio dell'azione della forza motrice costante sul corpo, questo fosse in quiete, sarebbe C=o, ed allora risulterebbe $S=\frac{VT}{2}$. Cioè *nel moto uniformemente accelerato lo spazio è eguale alla metà del prodotto della velocità finale pel tempo.*

Cessando la forza motrice costante, il corpo si moverà con moto uniforme in virtù della sola velocità acquistata V, e quindi per un tempo T lo spazio percorso sarà VT (§. 221); vale a dire che *un corpo, seguitando a moversi per l'egual tempo colla sola velocità acquistata, percorrerà con moto uniforme uno spazio doppio di quello già descritto con moto uniformemente accelerato per avere quella velocità.*

241. Essendo $V=g\,T$ ed $S=\frac{VT}{2}$, se si sostituisca nella seconda equazione il valore di V dato alla prima, si ha $S=\frac{gT^2}{2}$, e se invece si sostituisca quello di T risulta $S=\frac{V^2}{2g}$. Per un altro tempo t, nel quale si ha la velocità u e lo spazio s, si otterrà egualmente $s=\frac{gt^2}{2}$ $s=\frac{u^2}{2g}$; quindi $S:s::g\frac{T^2}{2}:\frac{gt^2}{2}$, ossia $S:s::T^2:t^2$, come pure $S:s::V^2:u^2$. Cioè *gli spazi nel moto uniformemente accelerato sono come i quadrati dei tempi o delle velocità finali.*

Nell'eguaglianza $S=\frac{gT^2}{2}$, mettendo invece di T i tempi successivamente crescenti t, $2t$, $3t$, $4t$ ecc., si hanno per S altrettanti valori esprimenti gli spazii corrispondenti a questi tempi, si ha cioè $\frac{g}{2}t^2$; $\frac{g}{2}4t^2$; $\frac{g}{2}9t^2$; $\frac{g}{2}16t^2$; $\frac{g}{2}25t^2$ ecc. Laonde lo spazio percorso nel primo tempo t è $\frac{g}{2}t^2$; quello descritto nel secondo tempo successivo eguale al primo risulta $\frac{g}{2}(4t^2-t^2)=\frac{g}{2}.3t^2$; l'altro trascorso nel terzo tempo successivo ed eguale viene ad essere $\frac{g}{2}(9t^2-4t^2)=\frac{g}{2}5t^2$ nel quarto tempo $\frac{g}{2}(16t^2-9t^2)=\frac{g}{2}.7t^2$ ecc. Talchè si vede che *gli spazii percorsi in ognuno dei singoli tempi successivi ed eguali stanno fra loro come i numeri dispari naturali* 1, 3, 5, 7 ecc.

242. Da quanto si è esposto intorno alla comunicazione del moto si comprende come le forze motrici non si debbano valutare indipendentemente dal tempo della loro azione (§. 230); cioè non misurare come le forze impresse, le quali eguagliano il prodotto della massa per la velocità (§. 224). Si rappresenti con F la forza motrice costante, che sollecita il corpo di massa M per un tempo T, al fine del quale esso acquista la velocità V; e siano f, m, t, u le denominazioni analoghe per un altro corpo. Consideriamo per un momento un terzo corpo di massa M eguale a quella del primo e colla velocità finale V acquistata nel tempo t nell'essere sollecitato dalla forza motrice costante φ; come pure un quarto corpo i cui elementi analoghi siano M, t, u, ed è animato dalla forza motrice costante ψ.

Paragonando le forze motrici del primo e terzo corpo, si avrà $F : \varphi :: t : T$; perchè, essendo le masse e le velocità finali eguali, le forze devono seguire la ragione inversa dei tempi, cioè deve essere di tanto maggiore quella forza quanto in minor tempo fa guadagnare al corpo d'egual massa la stessa velocità. Paragoniamo altresì le forze motrici del quarto e del secondo corpo, e ne risulterà $\psi : f :: M : m$; poichè, per essere i tempi e le velocità eguali, le forze seguiranno la ragione delle masse. Infine si mettano a confronto le forze sollecitanti il terzo ed il quarto corpo, e si avrà $\varphi : \psi :: V : u$; giacchè, per essere eguali le masse ed i tempi, le forze bisogna che siano come le velocità finali comunicate alle medesime. Le tre proporzioni disposte per ordine danno:

$$F : \varphi :: t : T$$
$$\psi : f :: M : m$$
$$\varphi : \psi :: V : u$$

Moltiplicando i termini omologhi delle medesime si ha la proporzione composta, la quale si riduce ad $F : f :: MVt : muT$. Si prendano al solito le unità di massa, di tempo e di velocità, facendo $m=1$, $t=1$, $u=1$, si avrà la forza motrice costante, espressa in altrettante unità di forza $f=1$, $F=\frac{MV}{T}$, cioè *la forza motrice costante è eguale al prodotto della massa per la velocità, diviso pel tempo.*

243. Se con g si noti la forza motrice costante, che compete ad una sola molecola, mentre F esprime quella che sospinge l'intera massa M, si avrà $F : g :: M : 1$, da cui $F=gM$. Sostituendo ad F il valore precedente, risulta $\frac{MV}{T}=gM$, da cui si ricava $g=\frac{V}{T}$, la quale dà l'espressione della *forza acceleratrice costante* g. Ora abbiamo

altrove notato con g la velocità iniziale d'un corpo sollecitato da una forza motrice costante e si è trovata la relazione ch'essa ha con quella finale e col tempo nell'equazione $V=gT$ (§. 239), da cui si ricava $g=\frac{V}{T}$, vale a dire che *la velocità iniziale ha lo stesso valore della forza acceleratrice costante.* Sapendosi poi che $S=\frac{V^2}{2g}$ (§. 241), si ha da quest'equazione $g=\frac{V^2}{2S}$: sostituendo questo valore nell'equazione della forza motrice costante, si ha $F=\frac{MV^2}{2.\,S}$. Ed ecco come le forze sono proporzionali ai quadrati delle velocità. La forza motrice costante però, considerata nel primo istante d'azione, prende il nome, come si disse, di *forza acceleratrice costante*, la quale si è veduto avere un valore analogo a quello della forza impressa, cioè *al prodotto della massa per la velocità iniziale.*

244. Le tre equazioni generali $W=C+gT$; $S=CT+\frac{VT}{2}$; $F=\frac{MV}{T}$ trovate nei precedenti paragrafi sono fondamentali, ed unitamente alla altre, che da esse si deducono,

$$V=gT;\ S=\frac{VT}{2};\ S=\frac{gT^2}{2};\ S=\frac{V^2}{2g};\ F=gM,$$

servono a sciogliere tutte le questioni intorno al moto uniformemente accelerato. Da queste equazioni si ricavano facilmente parecchie proporzioni, che esprimono le leggi d'un tal moto. L'ultima di esse, per esempio, somministra $g=\frac{F}{M}$, per la quale si viene ad apprendere che la forza motrice F, operando su diversi corpi, produrrà in loro delle forze acceleratrici g, le quali riusciranno inversamente proporzionali alle masse; mentre la medesima equazione ci mostra che, per avere delle forze acceleratrici eguali, è mestieri che le forze motrici siano nella ragione diretta delle masse.

Le equazioni precedenti si possono combinare in differenti maniere eliminando da due di esse una qualunque delle quantità, che entrano a formarle. Facciamo conoscere una di tali combinazioni che ci sarà utile nel progresso dei nostri studii. Prendiamo le due equazioni $W=C+gT$, $S=CT+\frac{VT}{2}$: da quest'ultima, sostituendo a V il suo

valore gT, si ha $S=CT+\frac{gT^2}{2}$, da dove, posto invece di T il valore $\frac{W-C}{g}$ tratto dalla prima, si ha la relazione $S=\frac{C(W-C)}{g}+\frac{g}{2}\frac{(W-C)^2}{g^2}$ la quale si riduce ad $S=\frac{(W+C)(W-C)}{2g}=\frac{W^2-C^2}{2g}$.

245. Il moto uniformemente ritardato si ottiene, allorquando agisca su d'un corpo una forza motrice costante in verso contrario al moto che ha già impresso. Infatti nell'azione della forza, il corpo verrà ritardato nel suo moto primitivo con eguale misura in ogni unità di tempo e ne risulterà quella specie di moto. Col continuo ritardamento la velocità giungerà infine ad essere del tutto annullata; ed a tal punto, continuando l'azione della forza motrice costante, succederà un moto in contraria direzione del primo, il quale diverrà uniformemente accelerato. Ma dall'istante in cui incomincia il ritardamento sino alla cessazione si verificano, pel moto uniformemente ritardato, alcune leggi analoghe a quelle del moto uniformemente accelerato. Primieramente osserveremo che nel moto ritardato la *velocità iniziale* è la massima, la quale dopo un dato tempo diventa nulla; al contrario del moto accelerato dove la massima velocità è quella finale.

Per mostrare l'analogia dei due moti, osserviamo che la forza motrice costante, la cui azione è direttamente opposta alla celerità iniziale C debita al corpo al principio del moto, gli leverà nel tempo T la velocità gT, essendo g quella iniziale dovuta alla forza (§. 239); e perciò si avrà $W=C-gT$. La quale formola somministra la velocità W, che rimane al corpo dopo essere stato mosso pel tempo T con moto uniformemente ritardato, ed è simile all'altra $W=C+gT$, che dà la velocità W nelle stesse circostanze pel moto uniformemente accelerato (§. 239). Egli è chiaro, come si scorge eziandio dal confronto di queste due formole, che l'azione della forza è in direzione opposta nei due moti, e le equazioni rinvenute pel moto uniformemente accelerato si applicheranno a quello uniformemente ritardato cambiando il segno a tutti i termini contenenti g. Perciò, invece di $S=CT+g\frac{T^2}{2}$ (§. 244), sarà nel moto uniformemente ritardato $S=CT-\frac{gT^2}{2}$, e quindi anche $S=CT-\frac{VT}{2}$. Inoltre pel moto uniformemente accelerato si è trovato $S=\frac{W^2-C^2}{2g}$, per quello uniformemente

ritardato sarà $S=\frac{C^2-W^2}{2g}$. Nel primo di questi moti g dinota *la forza acceleratrice costante* (§. 243), la quale nel secondo prende la denominazione di *forza ritardatrice costante*.

Per dedurre le altre formole osserviamo che il moto col continuo ritardare deve estinguersi. Si chiami S lo spazio descritto dal principio del ritardamento sino all'estinzione del moto, e T il tempo corrispondente; mentre C è la celerità iniziale e W la finale. L'estinzione di quel moto si verifica quando la velocità W diventa zero. Nelle due equazioni superiori $W=C-gT$, $S=\frac{C^2-W^2}{2g}$, si faccia $W=0$ e si avrà $C=gT$, $S=\frac{C^2}{2g}$. Sostituendo nella seconda il valore di C e poscia quello di g ricavati dalla prima, risulta $S=\frac{gT^2}{2}$ ed $S=\frac{CT}{2}$ Tutte queste formole sono analoghe a quelle trovate pel moto uniformemente accelerato, nelle quali alla velocità finale di questo moto viene sostituita la velocità iniziale di quello uniformemente ritardato; perlocchè tutte le leggi che si sono dedotte pel primo di questi moti valgono eziandio pel secondo. Essendo $C=gT$ nel moto ritardato, si apprende che *le velocità in dati istanti stanno come i tempi che rimangono dai medesimi all'estinzione del moto*; o in altri termini *la velocità perduta in un dato tempo è proporzionale al tempo medesimo*. Inoltre, per essere $S=\frac{CT}{2}$, risulta che *lo spazio percorso con moto uniformemente ritardato è eguale alla metà del prodotto della velocità iniziale pel tempo necessario alla sua cessazione*; e dalle equazioni $S=\frac{gT^2}{2}$ ed $S=\frac{C^2}{2g}$ si apprende che *gli spazii, che da dati istanti rimangono ad essere percorsi, seguono la ragione dei quadrati dei tempi necessarii alla cessazione del moto o dei quadrati della velocità negli istanti medesimi*. Per essere rispettivamente nei due moti $S=\frac{VT}{2}$, $S=\frac{CT}{2}$, gli spazii in essi percorsi sono eguali per la stessa forza motrice; il che si può esprimere in altro modo dicendo: *se un corpo che cammina con moto uniformemente accelerato percorra un dato spazio per acquistare una certa velocità, quando si muova con moto uniformemente ritardato, avendo al principio questa velocità, dovrà percorrere un eguale spazio onde la velocità medesima sia annullata.*

246. Il moto verticale dei gravi, che liberamente cadono o sono spinti all'insù, appartiene all'uno o all'altro dei due moti precedentemente considerati. La caduta libera dà luogo al moto uniformemente accelerato, ed i gravi spinti in alto verticalmente a quello uniformemente ritardato. Imperciocchè il moto dei gravi nei due casi è prodotto da una forza motrice costante; potendosi la gravità, ad una distanza non molto grande del nostro globo, ritenersi come una forza di tale specie (§. 126). Egli è per ciò che nel moto verticale dei gravi si verificano tutte le leggi stabilite per quelli uniformemente accelerato e ritardato.

In natura il moto dei gravi è alterato dalla resistenza dell'aria (§. 123); per cui lo spazio, descritto dal corpo per impulso della gravità, risulta minore del vero. Galilei aveva già determinato lo spazio percorso da un grave nel primo minuto secondo della sua caduta; ed un corpo molto denso, come sarebbe una palla di piombo, prova in quel primo istante di tempo per l'aria un ritardamento insensibile. Quello spazio si determina più accuratamente per mezzo del pendolo, il cui moto d'oscillazione ha un'intima relazione con quello della caduta libera e si trova che alla latitudine di Milano, posto quasi alla media di 45°, i gravi cadenti nel primo minuto secondo percorrono lo spazio di metri 4,9029. Questo spazio varia col variare la latitudine, e risulta più grande nei paesi posti vicini ai poli per la ragione che la gravità cresce andando dall'equatore ai poli (§. 124). A Roma, p. e., posta ad una latitudine minore di Milano, quello spazio risulta di met. 4,9013; mentre a Parigi ed a Londra, due città situate ad una maggiore latitudine, è rispettivamente di met. 4,9044 e 4,9056. All'equatore poi lo spazio medesimo è di met. 4,8904; mentre ai poli risulta di met. 4,9156. Con questi dati si determina la velocità iniziale pel secondo di tempo o la forza acceleratrice (§. 243) o ritardatrice (§. 245) costante dei gravi. Infatti la formola $S=\frac{gT^2}{2}$ (§. 241) somministra tosto il valore della forza acceleratrice costante g facendo in essa $T=1''$ ed $S=4,9029$; per cui si ha $g=9,8058$; vale a dire che alla latitudine di Milano la forza acceleratrice o ritardatrice della gravità è tale che imprime ai corpi la velocità di met. 9,8058 per ogni minuto secondo.

247. Nell'equazione $S=\frac{V^2}{2g}$, stabilita in generale pel moto uniformemente accelerato (§. 241), sarebbe S l'altezza da cui dovrebbe cadere il grave per acquistare la velocità V, per cui si suol dire che S è

l'altezza debita alla velocità V, e così pure la velocità V è debita all'altezza S, e sarebbe $v = \sqrt{2gS}$.

Vedremo più avanti che la gravità fa discendere i corpi lungo i piani inclinati con moto uniformemente accelerato, ma con una forza che varia secondo l'inclinazione del piano. Siccome poi in questo moto la velocità cresce col tempo (§. 239); così si comprende come un masso, distaccato dalla sommità d'un monte, si muova al principio lentamente e poscia la sua velocità vada successivamente crescendo col tempo in modo da acquistare una forza capace a strascinare con sè e rovesciare gli ostacoli, che incontra nel suo cammino. Egli è per ciò che poca quantità di neve dalla vetta delle montagne, mossa dal vento o da altra causa, rotola sul pendío, s'ingrossa col continuo rotolare sopra un letto di neve e diventa un grande ammasso dotato di grandissima velocità e quindi d'una forza enorme (§. 224) capace di superare gli ostacoli i più resistenti, di rovesciare le case sottoposte e produrre la devastazione e la rovina in interi villaggi. Da questo appunto derivano la formazione e gli effetti delle valanghe, che precipitano dai monti. Se la caduta è libera, la velocità, per l'egual tempo, è maggiore di quella che il grave acquista lungo il pendío dei monti; per cui, se il grave ha una gran massa, esso giunge al basso nella caduta con una forza enorme. La caduta del Niagara ci presenta un esempio di tale forza. Le acque d'un fiume di considerevole larghezza cadono dall'altezza di 60 metri ed acquistano tale velocità che, unitamente alla grande massa, forma una forza immensa, che è stata valutata superiore alla somma di tutte quelle in attività nei lavori mecanici d'ogni specie ed in tutte le fabbriche e le officine delle arti del mondo abitato dagli uomini (1). Per la velocità, che i gravi nel cadere acquistano in ragion del tempo, s'intende come un uomo salta impunemente da una carrozza sul suolo sottoposto, mentre saltando giù da un balcone di 4 in 5 metri d'altezza proverebbe già una percossa pericolosa, e il corpo dell'areonauta, che cadesse dal pallone elevato di qualche chilometro, acquisterebbe una tale velocità, per la quale verrebbe conquassato ed interamente schiacciato.

248. Il getto verticale d'acqua possiede una gran velocità al momento dell'uscita dal foro: questa velocità va scemando a misura che il getto s'innalza e si muove con moto uniformemente ritardato.

Quando si tira un colpo di fucile dall'alto al basso, la palla cade

(1) Vedi *Annali di Fisica* ecc. di Majocchi, T. XVIII. pag. 108.

con tutta la velocità ricevuta dalla polvere infiammata, cui si aggiungono quelle nascenti dalle azioni continuamente ripetute della gravità. Quando invece si tira dal basso all'alto, la palla s'innalza nel primo momento con tutta la velocità comunicatale dalla forza della polvere; ma il suo moto viene tosto ritardato in ciascun istante dall'azione incessantemente rinnovata della gravità. A capo d'un certo tempo, l'azione sempre contraria della gravità ha distrutto nel proiettile la velocità primitiva ricevuta, e vi ha un punto in cui esso è in quiete. La gravità allora, continuando la sua azione, fa discendere la palla e continua il suo potere facendola cadere con moto uniformemente accelerato, con cui giunge al suolo, nel punto da cui è partita, dotata di tutta la velocità che ha perduto nell'ascendere (§. 243).

Nel secondo movimento dunque la gravità aggiunge in ciascun istante una quantità d'azione precisamente eguale a quella che, durante l'ascensione della palla, le aveva levato. Per tal modo *la palla percorre nello stesso tempo l'eguale spazio tanto nella salita quanto nella caduta, ed ha l'egual velocità tanto al principio della salita quanto al fine della caduta.* Si scorge facilmente da ciò che non si può avere verun vantaggio da un corpo cadente per farlo risalire più elevato dal punto da cui è disceso; nè dalla forza che perde salendo per avere un guadagno di forza nella caduta. Queste verità sono semplici e di facile intelligenza, e non bisogna cessare di raccomandarle a coloro, dai quali sono ignorate, per evitare un gran numero di erronee combinazioni nella meccanica usuale e d'*inutili indagini* intorno al *moto perpetuo*.

249. Le formole trovate pel moto uniformemente accelerato (§. 244) che valgono eziandio per quello uniformemente ritardato (§. 245), si possono applicare alla soluzione di problemi intorno al moto verticale dei gravi, dei quali riportiamo qui alcuni per esercizio colle rispettive soluzioni.

I. Dall'istante, in cui si lascia cadere in luogo profondo un corpo molto denso, a quello in cui si è sentito il rumore della percossa, è trascorso un numero T di secondi, si cerca quanto sia la profondità.—Chiamando x questa profondità ed U la velocità del suono che alla temperatura ordinaria si può ritenere di 340 metri per secondo, si ha per la soluzione del problema

$$x = \frac{U}{g}\left(Tg + U \pm \sqrt{2gUT + U^2}\right).$$

II. Determinare il tempo che un corpo, cadente liberamente,

deve impiegare a percorrere un'altezza data. — La soluzione si ha da $T = \frac{\sqrt{2.S.}}{g}$.

III. Trovare la velocità che acquisterebbe il corpo nel cadere da una nota altezza.—L'equazione $V = \sqrt{2g}\ S$ dà la soluzione.

IV. Trovare l'altezza da cui dovrebbe cadere un grave per acquistare una data velocità.—Essa si ottiene dall'equazione $S = \frac{V2}{2g}$.

V. Stabilire il tempo, durante il quale un corpo cadente acquisti una data velocità.—Esso si ha tosto dall'equazione $T = \frac{V}{g}$.

VI. Qual velocità deve avere un grave per giungere verticalmente ad una data altezza?—La velocità richiesta è $C = \sqrt{2g.}\ S$.

VII. Per quanto tempo deve moversi un grave lanciato verticalmente in alto colla debita velocità per giungere ad un'altezza nota? —Il tempo richiesto è $T = \sqrt{\frac{2\ S.}{g}}$.

VIII. Determinare l'altezza cui giungerà un grave lanciato verticalmente in alto con una velocità iniziale data.—La soluzione si ha dall'equazione $S = \frac{C2}{2g}$.

IX. Quanto tempo impiegherà un grave lanciato verticalmente all'insù per estinguere la velocità di cui è dotato?—Il tempo richiesto è $T = \frac{C}{g}$.

X. Si desidera sapere l'altezza cui deve giungere un grave lanciato verticalmente in alto con una velocità data, affinchè gli rimanga una velocità parimente data. — La soluzione si ha dall'equazione $S = \frac{C^2 - W^2}{2g}$.

XI. Quanto tempo è necessario per annullare una data porzione della velocità iniziale d'un grave lanciato verticalmente in alto S.—Il tempo domandato è $T = \frac{C - W}{g}$.

XII. Rinvenire l'altezza da dove deve cadere un grave, il quale, essendo già fornito d'una data velocità, venga ad avere una velocità parimenti data. — La soluzione si ha dall'equazione $S = \frac{W^2 - C^2}{2g}$.

XIII. Si voglia conoscere il tempo da essere impiegato da un grave per acquistare nella caduta libera una data velocità, essendo previamente fornito d'una velocità nota.—Il tempo richiesto è espresso da $T = \frac{W-C}{g}$.

XIV. Si domanda il tempo che impiegherà un grave a cadere da una data altezza, essendo previamente dotato d'una data velocità; —Il tempo domandato è $T' = \frac{1}{g}\left(-C + \sqrt{C^2 + 2g.S}\right)$.

XV. Qual sarà la velocità totale che avrà il grave al fine della caduta da una data altezza, essendo previamente dotato d'una velocità nota?—La velocità richiesta è $W = \sqrt{C^2 + 2g.S}$.

250. Le leggi del moto verticale dei gravi non si potrebbero verificare, con esperienze di gabinetto, senza il sussidio della *machina d'Atwood* e *del piano inclinato di Galilei*, perchè si richiederebbero delle grandi altezze; d'altronde per la grande velocità nella caduta libera diventa molto sensibile la resistenza dell'aria, la quale ne altera le leggi. Con quei due apparati si diminuisce la velocità facendo agire soltanto porzione della gravità sulla massa in moto, e l'ostacolo dell'aria riesce insensibile; inoltre gli spazii risultano di tale grandezza che si possono facilmente misurare ed istituire delle sperienze di gabinetto per la conferma delle leggi del moto prodotto da una forza motrice costante, quale è la gravità o una porzione di essa. Qui ci occuperemo della machina d'Atwood, riserbandoci di parlare dell'apparato di Galilei, allorquando faremo conoscere le dottrine del piano inclinato.

La machina d'Atwood consiste in una colonnetta CD di legno (fig. 23) dell'altezza di circa due metri impiantata verticalmente in una base AB della forma di croce o di circolo del diametro di alcuni decimetri, e fornita di piedi a vite per renderla orizzontale. Parallelamente alla colonnetta e ad un decimetro di distanza è disposta un' asta quadrangolare EF della stessa altezza e divisa in decimetri e centimetri. Sulla loro sommità è fissato un piano orizzontale PQ di legno dell'ampiezza presso a poco della base, ove vi hanno due aperture, una delle quali corrisponde all'asta EF. Su questo piano è situata verticalmente una ruota R, la quale appoggia col suo asse sulle intersecazioni delle periferie di altre quattro ruote M, N, perchè in tal maniera si cangia l'attrito composto de' suoi perni in attrito volvente, e la si rende mobilissima. La detta ruota R corris-

ponde coll'apertura che è praticata nel piano PQ, ed ha una scanalatura, dove vien introdotto un filo flessibilissimo, poco più lungo dell'asta, ai capi del quale si appendono dei piccioli pesi circolari p, q. La pochissima resistenza che soffre il congegno nel suo moto, e per l'attrito dei perni della ruota e per la rigidezza del filo, è valutata e forma coll'inerzia delle ruote e coi due pesi eguali e colla forza acceleratrice una massa da muoversi, che ha un rapporto determinato colla forza medesima che si aggiunge ad uno dei pesi attaccati all'estremità del filo. Laonde, se i detti pesi p. q colla resistenza della ruota e del filo formassero una massa di 48 grammi, aggiunto un grammo ad uno dei pesi, esso farebbe muovere il filo insieme ai pesi con una forza che sarebbe 1|49 della massa che vien mossa. Ora un corpo, cadendo liberamente in virtù della propria gravità, percorre nel primo minuto secondo metri 4,9 (§. 246); ma nel nostro caso la forza motrice essendo 1|49 della totale, succede che lo spazio descritto pure nel primo minuto secondo viene ad essere 1|49 di quello che descriverebbe il corpo se agisse tutta la propria gravità. Dunque nel primo minuto secondo il peso attaccato al filo su nominato descriverà metri 0,1.

Determinato così lo spazio che nella machina il corpo descrive nel primo minuto secondo, si trova che per tempi maggiori gli spazii seguono la legge annunziata dei quadrati dei tempi medesimi (§. 241). In somigliante maniera si verificano tutte le altre leggi del moto verticale dei gravi. Ma in tali sperienze importa di operare con una machina data, affine di determinare in essa esattamente le resistenze e l'inerzia delle ruote, e computare il tutto nella massa da mettersi in movimento.

Per dare un'idea del principio su cui è costrutta la machina di Atwood, prendiamo la formola $x=\frac{MV-mu}{M+m}$, che dà la velocità comune di due corpi connessi con un filo inestendibile e mossi in contrario verso (§. 229). Per la machina d'Atwood, M ed m rappresentano le masse appese al filo accavallato alla rotella; V ed u le velocità rispettive che, dopo un dato tempo, la gravità imprimerebbe ad esse. Chiamando T un tal tempo, sappiamo essere $V=g\,T$, ed $u=g\,T$ (§. 239); e quindi si ha per la velocità comune dei due pesi attaccati al filo, l'uno nel discendere e l'altro nell'ascendere, $x=\frac{M-m}{M+m}\,g\,T$. Siccome poi lo spazio è espresso dalla formola $S=\frac{VT}{2}$ (§. 240); così

nel caso della machina d'Atwood risulta $S = \frac{M-m}{M+m} \cdot \frac{g}{2} \cdot T^2$. Supponendo adunque che al filo siano appese le masse $M=25$, $m=24$, con cui rimane 1 di forza motrice, e sapendosi che g nella caduta dei gravi è di 98 decimetri; si avrà per lo spazio percorso dai pesi della machina d'Atwood nel tempo $T=1$, $S=\frac{25-24}{25+24} \cdot \frac{98}{2}$, ossia $S=1$; cioè invece di 49 decimetri, come nella caduta libera, il grave percorrerà un solo decimetro. Qui però non si è tenuto conto delle resistenze e dell'inerzia delle ruote, che si determinano coll'esperienza e variano per ciascuna machina, le quali quantità costituiranno una massa da esser aggiunta al divisore $M+m$.

251. Per istituire le diverse sperienze, l'apparato è fornito d'un numero sufficiente di pesi, i quali hanno un foro nel loro centro per introdurli nella verghetta cilindrica attaccata ad uno di essi. Ciascun peso eguaglia un multiplo o una frazione d'un'unità, che comunemente si nota con m. Conviene altresì che alcuni dei detti pesi abbiano la forma di verghette quadrangolari S, e siano di lunghezza maggiore del diametro dell'anello circolare, del quale impareremo a conoscere l'uso. Inoltre vi ha un piattello da assicurarsi, come l'anello, col mezzo d'una vite di pressione, all'asta quadrangolare. Alla colonnetta avvi annesso un orologio a pendolo T, che batte distintamente i secondi di tempo.

La machina d'Atwood, colla quale si istituirono le sperienze, è fornita di due pesi circolari, nel cui centro sta saldata una verghetta cilindrica uncinata, dove s'introducono altri pesi consimili. Le due verghette si appendono ai capi rispettivi del filo di seta flessibilissimo. I pesi sono di $5m$, e ve ne sono alcuni di $2m$, di $1m$, di $1|2m$ e di $1|5m$. Per determinare le resistenze e l'inerzia da aggiungersi alla massa totale, si sono appesi ad un capo del filo $27m$ ed all'altro $26m$. Con questa carica si è sperimentato più volte lo spazio che il peso $27m$ descrive nel discendere durante il primo minuto secondo, ed esso si è trovato di 7 centimetri. Siccome 7 centimetri sono $1|70$ dello spazio 490 centimetri, che il corpo descriverebbe per caduta libera; così la forza motrice m deve pure essere $1|70$ della massa in movimento. Ma la somma delle masse dei due pesi è di $27m+26m=53m$; perciò le rimanenti $17m$ mancanti al compimento di $70m$ saranno equivalenti alle resistenze ed all'inerzia delle ruote. In un' altra prova si sono appesi da una parte $41m$ e dall'altra $40m$, avendosi con ciò ancora m di forza motrice. Si è trovato con questa ca-

Digitized by Google

rica che lo spazio descritto nel primo secondo è di 5 centimetri, il quale risulta $^1/_{98}$ dello spazio per la caduta libera. Si vede quindi che le resistenze coll'inerzia formano anche in questo caso una massa di 17*m*, la quale col pesi della carica 81*m* dà la somma di 98*m*, di cui la forza motrice è appunto $^1/_{98}$. — Il piattello su mentovato si assicura all'asta verticale in quel punto dove deve essere arrestato il corpo in movimento. Il peso che deve essere posto in moto dalla gravità è ritenuto da un sostegno collegato col pendolo, il quale lo lascia libero ad un certo punto in cui incomincia la battuta dei secondi di tempo.

252. Per dimostrare che *gli spazii sono in ragione dei quadrati dei tempi*, si faccia la carica 27*m* da una parte e 26*m* dall'altra, e si troverà che, mentre nel primo secondo il peso percorre 7 centimetri, in due tempi batte sul piattello assicurato all'asta sulla divisione 28 centimetri; in tre tempi raggiunge lo stesso piattello applicato sulla divisione 63 centimetri, ed in 4 tempi il piattello vien percosso dal peso cadente alla distanza di 112 centimetri.

La velocità acquistata da un grave cadente, durante un certo tempo, è tale da fargli percorrere nell'egual tempo uno spazio doppio. Si faccia la carica con 26*m* per parte, e ad uno di questi pesi circolari si aggiunga quello *m* di forma prismatica collocatovi sopra orizzontalmente. L'anello lascia passare liberamente i pesi circolari, arresta quello di forma prismatica e leva per tal modo la forza motrice *m*, continuando allora il movimento in virtù della sola velocità acquistata. Se l'anello è posto sulla divisione 28 centimetri, questo spazio è percorso in 2 secondi; dopo cui il moto continua per la sola velocità acquistata e il corpo viene a battere nell'intervallo di due altri secondi sul piattello assicurato a 56 centimetri di distanza dall'anello, cioè sulla divisione 84.

Con esperimenti somiglianti si comprovano parecchie altre leggi del moto verticale dei gravi, cioè l'uniformemente accelerato e l'uniformemente ritardato. Per quest'ultimo è necessario un secondo anello, che si assicura all'asta in un sito tale che, mentre il peso discendente depone sul primo anello porzione della sua massa, quello ascendente si carica d'un nuovo peso (1).

(1) Chi bramasse di conoscere nei diversi casi il modo d'istituire le sperienze, può consultare la mia *Fisica popolare*, tom. I dalla pag. 505 alla 513.

SEZIONE II.

Del moto composto.

253. Si è già veduto, sin dal principio del capitolo cui appartiene questa sezione, che il *moto composto* succede quando agiscono due o più forze contemporaneamente sul mobile. Queste forze possono essere fra loro omogenee oppure eterogenee, e in riguardo principalmente alla direzione l'un caso è differente dall'altro. In questa sezione imprendiamo a considerare il moto composto entro i limiti richiesti dalla nostra scienza e dai bisogni per l'intelligenza dei diversi fenomeni alla medesima appartenenti.

Nel moto composto importa più che in quello semplice di considerare la massa del corpo come concentrata in un sol punto fisico, il quale per distinguerlo dal geometrico si suole chiamare *punto materiale*. Un punto materiale sollecitato contemporaneamente da più forze, agenti anche per differenti versi, deve prendere, com'è chiaro, un'unica direzione e ricevere un'unica velocità. La forza, che sarebbe atta a produrre da sola nel punto materiale una tal'unica direzione e velocità si chiama *risultante*; mentre tutte le forze stesse, per le quali questa ha nascimento, prendono il nome di *componenti*.

254. I luoghi, occupati successivamente dal mobile sollecitato da più forze, ciascuna delle quali agisca secondo direzioni parallele a se medesime, si determinano all'appoggio d'un principio, che si chiama la legge del moto composto ed è così concepito: *se ad un punto materiale s'imprimono nello stesso tempo moti distinti, questi si compongono in maniera che il mobile si trova in ciascun istante sulla linea stessa dello spazio, dove si troverebbe per ciascuno dei medesimi, se esistessero separatamente nel corpo.* Questo principio dipende dall'assioma che una forza, agente sopra un punto materiale parallelamente ad una retta o ad un piano, non può avvicinare nè allontanare il punto stesso da quella linea o da quel piano.

Nel moto composto spesso son date le componenti e si tratta di rinvenire la loro risultante, ossia di determinarne il punto d'applicazione, la direzione e la grandezza. Forma questo il soggetto della *composizione delle forze*. Alle volte è data un'unica forza, che si desidera di risolvere in due o più altre capaci a produrre lo stesso effetto, e ciò sotto date circostanze, ricercandosi, di tutte o soltanto di alcune componenti, il punto d'applicazione, la direzione e le grandezze rispettive. È questa ricerca lo scopo del problema inverso del precedente, vale a dire la *decomposizione delle forze*.

235. Primieramente noteremo che due o più forze, agenti sopra un punto materiale secondo la medesima retta, comunicano al punto stesso un moto, il quale, nel caso di forze cospiranti, eguaglia quello che produrrebbe una sola forza equivalente alla somma di quelle agenti; e nel caso di forze in contrario verso il moto risultante eguaglia quello che la maggior somma delle forze per un verso comunicherebbe al punto materiale, meno l'altro moto generato dalla somma delle forze in contrario verso. Queste sono verità che si possono considerare come assiomi e non hanno quindi bisogno di dimostrazione. Difatti non vi ha ragione per cui il mobile debba prendere una direzione differente da quella, secondo la quale agiscono tutte le forze componenti, nè che riceva un maggior o minor grado di velocità dalla somma di quelle, che gli vengono comunicate parzialmente da ogni singola forza cospirante, o dalla differenza delle due somme quando alcune delle forze agiscono in contrario verso delle altre. D'altronde questi principii sono una conseguenza della legge generale del moto, per la quale una palla, sospinta dalla molla, descrive sopra la nave sempre l'egual spazio tanto che questa abbia un moto a seconda quanto contrario alla palla (§. 129). Bisogna quindi che nel primo caso la palla concepisca un moto composto equivalente alla somma della velocità impressale dalla molla e di quella con cui si avanza la nave, che il proiettile ha conservato quantunque separato dalla medesima. Nel secondo caso il moto, concepito dalla palla in virtù della molla, deve essere sottratto da quello rimasto in essa dopo avere abbandonato la nave, affinchè il mobile descriva su questa l'uguale spazio di quando era in quiete.

236. Due forze F, *f*, che sono rappresentate dalle rette CA, CB, e sollecitano un punto materiale C facendo fra loro un angolo qualunque, hanno la risultante R, espressa in grandezza e direzione, dalla diagonale CD del parallelogrammo CADB costrutto con quelle forze considerate come lati attigui (fig. 24).

Le due forze F, *f* possono essere istantanee o motrici costanti, e le rette CA, CB, da cui sono rappresentate, possono esprimere le velocità debite a tali forze o gli spazii che le medesime separatamente sono atte a far percorrere al mobile nell'egual tempo; per la ragione che, posta egual massa e tempo, le forze stanno come gli spazii. La forza F dunque sarebbe capace di far percorrere da sola al mobile lo spazio CA in un dato tempo, mentre per l'azione della *f* il mobile descriverebbe nel medesimo tempo la linea CB. Ora la forza *f*, agendo sempre parallelamente alla retta AD anche quando sollecita il punto

materiale C assieme colla F, non disturberà, pel principio su esposto (§. 254), l'effetto di quest'ultima, che è di trasportare in quel tempo il punto materiale su qualche punto della AD. Del pari la forza F, esercitando la sua azione sempre in direzione parallela alla retta BD, non farà subire variazione all'effetto prodotto dalla *f*, che è di portare nello stesso tempo il mobile su qualche punto della BD. Dunque il punto materiale dovendo dopo il dato tempo esistere simultaneamente sulle rette AD, BD, per l'azione combinata delle forze F, *f*, dovrà trovarsi nel punto comune d'intersezione D estremo della diagonale CD. Siccome le due forze, siano esse istantanee o continuate costanti, conservano lungo tutto il corso del moto da C in D la stessa relazione; così in tutti gl' istanti del tempo gli spazii, descritti dal mobile in virtù di esse forze, saranno sempre proporzionali a CA, CB; e in un istante si avrà il parallelogrammo *Cadb*, la cui diagonale *Cd* sarà porzione della CD ed il mobile, dopo quella frazione di tempo, si troverà in *d*. Esso quindi percorrerà tutti i punti o la diagonale CD nel tempo intero, e questa retta rappresenterà la risultante delle due forze F, *f* espresse da CA, CB.

Le due forze date formano un piano, dove giace sempre la loro risultante, per la ragione che i due lati e la diagonale del parallelogrammo giaciono nel medesimo piano.

257. È questo il celebre *principio del parallelogrammo delle forze*, fecondo di molte applicazioni nella meccanica. Quando dunque si hanno due forze, si potrà a loro sostituirne una sola esprimendo queste forze con rette ad esse proporzionali disposte sotto l'angolo delle loro direzioni, e compiendo sulle rette medesime il parallelogrammo, la cui diagonale rappresenterà in direzione e grandezza la risultante delle due forze date. Si noti altresì che le tre forze, le due componenti e la loro risultante, possono formare il triangolo ACD (fig. 24), per essere AD=CB. Per cui la risultante CD di due forze ad angolo riesce sempre minore della somma delle due componenti CA ed AD=CB. Non bisogna per ciò confondere nel moto composto *l'eguaglianza delle forze con l'eguaglianza dell' effetto*, mentre questo riesce il medesimo tanto per la risultante quanto per le due componenti, senza che la prima sia eguale alla somma delle altre due forze. La risultante diminuisce in grandezza quanto più è grande l'angolo che fra loro fanno le componenti.

258. Il principio del parallelogrammo delle forze è di tale importanza che si è cercato di dimostrarlo con qualche sperienza di gabinetto. Uno degli apparati, per far comprendere un tal principio, è

il così detto *tavolino delle forze*. Esso consiste nel piano orizzontale CFED (fig. 25) sostenuto da quattro colonnette appoggiate ad un basamento AB. Questo basamento è fornito agli angoli di viti, che gli servono di piedi per rendere il tavolino orizzontale. Negli orli del tavolo sono intagliate delle scanalature a coda di rondine, nelle quali sono mobili dei corsoi portanti le rotelle *m*, *n*, *p*, *q* facilmente girevoli sul loro asse. Il piano del tavolo si copre con un foglio di carta, sul quale sono delineate le direzioni *mo*, *no*, e *po* delle due componenti e della risultante, o se si vuole il parallelogrammo stesso delle forze. Tre fili flessibilissimi di seta si congiungono nel punto o, ed accavallandosi alle rotelle *m*, *n*, *q* tengono appesi dei gravi proporzionali alle forze. Egli è chiaro che il grave del filo *po* produrrà lo stesso effetto dei due appesi ai fili *mo*, *no*, rappresentando il primo la risultante dei due altri. Talchè se nella direzione *oq*, opposta alla *op* della risultante, si appende al filo corrispondente un grave equivalente a quello della risultante medesima, dovrà fare equilibrio coi due gravi dei fili *mo*, *no* rappresentanti le componenti. Il che vien verificato dall'esperienza ed è una prova del principio del parallelogrammo delle forze, tanto più dimostrativa quanto minore sarà l'attrito delle rotelle sul loro asse. Egli è per ciò che le rotelle debbono essere mobilissime, e per evitare un attrito sensibile sarà bene di far movere i loro assi sopra altre rotelle annesse alla rispettiva staffa.

259. Col precedente principio si può avere, non solo la risultante di due, ma ben anche di un maggior numero di forze. A tal fine s'incomincierà col parallelogrammo delle forze a comporne due vicine, e poscia si troverà la risultante nello stesso modo della forza così ottenuta e della componente seguente, e così si procederà cercando la risultante della precedente ottenuta e della componente contigua sino all'ultima. Egli è chiaro che la forza così determinata sarà la risultante finale di tutte le componenti date.

Si può operare più speditamente col *poligono delle forze*, pervenendo alla risultante finale senza condurre quelle intermedie. Siano date le cinque forze rappresentate dalle rette CA, CB, CD, CE, CF, concorrenti nel punto C, delle quali si cerca la risultante (fig. 26). Dall'estremo A di una di esse CA si conduca la retta A*b* parallela ed eguale alla forza contigua CB, e poscia dall'estremità *b* si guidi la retta *bd* parallela ed eguale alla CD che immediatamente segue; indi dall'estremità *d* si prosegua a tirare la retta *de* parallela ed eguale all'altra forza CE, e finalmente la retta *ef* parallela ed eguale alla

quinta forza data CF. Congiungendo ora il punto di concorso C di tutte le forze col punto *f* così determinato, si ha la retta C*f*, che rappresenta in grandezza e direzione la risultante ricercata. Costituisce essa il sesto lato del poligono CA*bdef*C, di cui gli altri lati sono le rette rappresentanti le componenti.

Facendo attenzione al processo seguito per giungere alla determinazione della risultante, si scorgerà di leggieri che, nella costruzione dei singoli parallelogrammi, per ogni paio di forze si sono lasciati alcuni lati, che non era necessario di condurre per giungere a trovare il punto *f* dal quale si ha la determinazione della risultante C*f*. Osserviamo che la forza C*f*, per essere la risultante delle cinque date, produrrà l'egual effetto di esse e, disposta in verso opposto lungo il prolungamento della *f*C, farà colle medesime equilibrio. Sarà facile, da quanto abbiamo detto, applicare il metodo grafico del *poligono delle forze*, alla composizione d'un numero qualunque di esse.

260. Il principio del *poligono delle forze* può avere una prova sperimentale col *tavolino delle forze* per un certo numero di componenti date (§. 258); ma tanto pel parallelogrammo, come pel poligono delle forze serve meglio l'*apparato del poligono delle forze* (fig. 27).— Esso si compone d'una colonnetta che porta una grossa zona circolare d'ottone, disposta verticalmente e munita sulla periferia esterna d'una scanalatura, dove sono scorrevoli dei pezzi prismatici di metallo. Questi pezzi, connessi con rotelle facilmente girevoli sui loro assi, si possono fissare con viti di pressione su qualunque punto della zona circolare. Nell'apparato, che si rappresenta nella figura, vi sono tre rotelle, che si accrescono secondo il numero delle componenti. Siano date tre forze agenti ad angolo fra loro, rappresentate in grandezza e direzione da rette previamente condotte sopra un foglio di carta consistente, che si applica alla zona circolare dell'apparato. Alla direzione di queste rette corrispondono fili flessibilissimi di seta accavallati alle rotelle, uno dei quali, essendo verticale, pende liberamente dal punto di concorrenza. Le grandezze delle forze sono rappresentate dai gravi 1, 1 $^1/_2$, 2, che stanno appesi ai fili medesimi. Il poligono CABDC, coi lati rispettivamente paralleli alle forze date e ad esse proporzionali, essendo appunto CA=1, AB=1 1|2 e BD=2, determina la risultante CD. In direzione opposta a CD parte da C un quarto filo, che si accavalla ad una rotella e porta il peso R proporzionale alla risultante CD. Si trova appunto che R fa equilibrio coi pesi 1, 1 1|2 e 2, e quindi rappresenta la loro risultante.

261. Se si hanno tre forze CA, CB, CD, una delle quali CB non si trovi nello stesso piano delle altre due (fig. 28) è facile riconoscere dall'ispezione della figura che *la loro risultante è in direzione ed in grandezza rappresentata dalla diagonale* CR *del parallelepipedo costrutto sui lati esprimenti le forze medesime.*

Se le tre forze CA, CB, CD facciano tra loro un angolo retto, ed il parallelepipedo quindi risulti rettangolo; allora, denominandole rispettivamente con F, f, P, la risultante delle prime due sarà $x=\sqrt{(F^2+f^2)}$, e quella di x, P sarà $R=\sqrt{(x^2+P^2)}$ ossia $R=\sqrt{(F^2+f^2+P^2)}$.

262. Si può avere l'espressione analitica, che dia la relazione della risultante colle due componenti agenti sotto qualunque angolo. Siano CA, CB le due forze agenti fra loro ad angolo acuto od ottuso: si compisca il parallelogrammo e si conduca all'estremo D della risultante la perpendicolare DE sopra una delle componenti f (fig. 29). Nel caso dell'angolo acuto, è facile di riconoscere che quella perpendicolare deve cadere fuori del parallelogrammo delle forze, mentre per l'angolo ottuso deve cadere dentro il medesimo. Dal triangolo CDE si ha $\overline{CD}^2=\overline{CE}^2+\overline{DE}^2$, ossia $\overline{CD}^2=\overline{CB}^2+\overline{CA}^2\pm 2CB\ BE$, valendo il segno superiore per l'angolo acuto. Sostituendo alle linee i simboli esprimenti le forze, si ha $R^2=F^2+f^2\pm f2f.BE$. Si chiami ora α l'angolo ACB delle due forze, il quale quando sarà ottuso avrà il coseno negativo, e per ciò si avrà, pei due casi, $R^2=F^2+f^2+2fF\cos.\alpha$, da cui si ha la risultante $R=\sqrt{(F^2+f^2+2fF\cos.\alpha)}$.

Se l'angolo è retto diventa $\cos.\alpha=o$, e perciò $R=\sqrt{(F^2+f^2)}$, come sappiamo. Che se l'angolo aumenta in modo da eguagliare i due retti, allora le due componenti agiscono secondo la medesima retta l'una in opposizione all'altra ed è $\cos.\alpha=-1$, per cui risulta $R=F-f$, come si è riconosciuto altrove (§. 255). Quando poi l'angolo α s'impicciolisce in modo da diventare zero, le due componenti risultano cospiranti secondo la medesima retta, ed è $\cos.\alpha=1$, e si ha $R=F+f$, come si sa per altre considerazioni (§. 255). La formola $R=\sqrt{(F^2+f^2+2fF.\cos.\alpha)}$ comprende dunque tutti i casi della composizione di due forze sollecitanti un punto materiale.

Per applicare la formola a qualche caso, supponiamo che le due forze f, F siano rispettivamente di 10 e 20 chilogrammi ed agiscano fra loro sotto l'angolo di 30 gradi. Sostituendo questi valori e riducendo, si ottiene $R=29,09$, che se è $\alpha=60$ gradi, allora risulta $R=26,45$; e se è $\alpha=120$ gradi si ha $R=17,32$.

263. Chiamando x l'angolo, che fa la componente F colla risultante R ed y l'angolo che fa l'altra f colla medesima risultante, si ha per la trigonometria $F : f : R :: sen.\ y : sen.\ x : sen.\ z$; cioè *ciascuna delle tre forze, le due componenti e la risultante, è proporzionale al seno dell'angolo formato dalle altre due.*

Da ciò si ricava eziandio che *due delle tre forze stanno in ragione inversa delle perpendicolari abbassate sulle medesime da un punto preso sull'altra*; giacchè si vede tosto che le perpendicolari rappresentano i seni di questi angoli.

Si può ora avere la direzione dalla risultante e conoscere l'angolo che fa con una delle componenti, senza il bisogno di descrivere il parallelogrammo. Infatti $F : R :: sen.\ y : sen.\ \alpha$, da cui si ha $sen.\ y = \frac{F.\ sen.\ \alpha}{R}$, cioè *il seno dell'angolo che la risultante fa con una delle componenti è eguale al prodotto dell'altra componente pel seno dell'angolo delle forze, diviso per la risultante.*

Quando siano date più di due forze F, f, P, Q ecc. agenti ad angolo sopra un punto materiale, allora s'incomincerà a valutare la risultante di due di esse colla formola $R = \sqrt{(F^2 + f^2 + 2f.\ F.\ \cos.\ \alpha)}$, e poscia si troverà nello stesso modo il valore della risultante φ della R e dell'altra componente P, e si avrà $\varphi = \sqrt{(R^2 + P^2 + 2R.\ P.\ \cos.\ \beta)}$ essendo β l'angolo che fanno fra loro R e P; e così si progredirà per la componente Q sino all'ultima. È mestieri però conoscere l'angolo β fatto dalla risultante R già determinata colla forza contigua P. A tal fine si determina dapprima l'angolo che fa R colla sua componente f, il qual aggiunto a quello che la stessa f fa colla contigua P, si avrà per somma l'angolo β delle due nuove forze R, P, di cui si tratta di determinare la risultante φ.

264. Si presenta spesso il bisogno di risolvere una forza data in due o più altre per riconoscere la parte d'azione, ch'essa esercita in una determinata direzione. In questo, come si disse, consiste il problema della *decomposizione delle forze* (§. 254). Per vedere in quali casi il problema è determinato o indeterminato, rammentiamo che le tre forze, le due componenti e la risultante, formano il triangolo che è la metà del parallelogrammo delle forze (§. 257). Per riconoscere quindi se una forza è decomponibile in due altre ad angolo, altro non si ha che a sciogliere un problema di semplice geometria per la costruzione d'un triangolo.

I. Quando sono dati tutti tre i lati si può costruire il triangolo, purchè la somma di due qualunque di essi sia maggiore dell'altro.

Per ciò se, oltre essere data la forza da decomporsi, sia conosciuta la grandezza delle due componenti e queste abbiano la loro somma maggiore della risultante, si potranno ottenere le direzioni delle componenti medesime.

II. Se è data la grandezza d'un lato, e si conoscono le rispettive direzioni degli altri due per riguardo al primo, si può pure costruire il triangolo. Data dunque una forza da decomporsi in due, le cui direzioni rispetto ad essa sono determinate, il problema è solvibile, e per iscioglierlo basterà costruire il triangolo e quindi il parallelogrammo, che darà la grandezza di ciascuna componente.

III. Se si conosce un solo lato e degli altri due non è data nè grandezza nè direzione, il triangolo non è determinato e si può costruire un numero indefinito di triangoli, che abbiano il lato proposto. Egli è per ciò che, data la sola forza da decomporsi, il problema è indeterminato, ossia si può avere un numero indefinito di componenti, che equivalgano, per riguardo all'effetto, alla forza data.

IV. Si sa che, essendo dati due lati e l'angolo compreso, si può costruire il triangolo e determinare il terzo lato. Se pertanto è data la grandezza d'una componente e la sua direzione relativamente alla forza da decomporsi, si determina la direzione e la grandezza dell'altra componente.

V. Infine, essendo conosciuti in grandezza due lati e la direzione del terzo relativamente ad uno dei primi, si può costruire il triangolo, quando, fatto centro nell'estremità del lato dato e con un raggio, eguale alla lunghezza dell'altro lato, si possa descrivere un cerchio, che intersechi o almeno tocchi la direzione del terzo lato. Nel caso dell'intersezione si hanno due triangoli, che soddisfano alle condizioni proposte, e nel caso del semplice contatto risulta un solo triangolo; e finalmente se la periferia non giunge nè ad intersecare nè a toccare la retta nominata riesce impossibile la costruzione del triangolo. Da ciò si deduce facilmente che, data la forza da decomporsi in due, delle quali si conosce la direzione dell'una e la grandezza dell'altra, il problema può avere due soluzioni, od una sola, ed essere ben anche impossibile.

265. Se si abbia a decomporre una forza in tre o più altre concorrenti in un sol punto, il problema riesce nella maggior parte dei casi indeterminato. Quando le componenti sono date in grandezza e direzione, la forza proposta si può risolvere servendosi del poligono delle forze (§. 259).

Si abbia la forza Cf (fig. 26) da decomporsi in tante altre rispetti-

vamente parallele e rappresentate dai lati del poligono CA*bdef*C e concorrenti nel punto C. A tal fine si prenderà CA come una delle forze, e poscia si conducono da C altrettante rette parallele ed eguali ai lati A*b*, *bd*, *de*, *ef*, le quali rappresenteranno le forze richieste.

A schiarimento del principio dichiarato pel moto composto (§. 254), possiamo mostrare com'esso si verifichi per parecchie forze ad angolo, essendo un punto materiale, tanto per l'azione contemporanea quanto per la successiva delle medesime, trasportato nello stesso sito. Delle cinque forze agisca primieramente la CA, la quale porterà in un dato tempo il punto materiale da C in A; poscia intervenga la CB che nello stesso tempo, agendo secondo la sua direzione, gli farà fare il cammino da A in *b*; eserciti in seguito la sua azione la CD, e questa lo spingerà nel medesimo tempo da *b* in *d*; sopraggiunga dopo la CE che lo trasporterà, pure in quel tempo, da *d* in *e*; e finalmente agisca CF, la quale tirerà il punto materiale nell'egual tempo da *e* in *f*, dove appunto si trova per l'azione simultanea di tutte cinque le forze.

266. Il parallelogrammo delle forze trova ad ogni momento d'essere applicato per la spiegazione dei fenomeni della natura e per l'intelligenza degli effetti di parecchie arti. D'altronde nelle azioni delle nostre membra, nell'uso di parecchi attrezzi, che si riscontrano continuamente nelle officine dell'Industria e nelle operazioni comuni della società, come pure nei movimenti esteriori, ai quali partecipiamo in tanti modi differenti, il parallelogrammo delle forze, come mezzo di composizione e di decomposizione, s'incontra ad ogni istante, e coll'aiuto del medesimo siamo in grado di meglio apprezzare l'uso delle nostre forze e di tutte quelle che ci somministra la natura e l'arte. Con un tal principio si apprende come economizzarle e dirigerle più convenientemente all'uopo prefisso colla minor perdita possibile.

Un punto materiale, giacente sopra un piano consistente e levigato, se viene sollecitato da una forza e non scorre sul medesimo, vuol dire che l'azione della forza stessa ha una direzione normale al piano. Altrimenti se fosse obliqua si potrebbe sempre decomporre in due altre, l'una delle quali fosse parallela al piano e produrrebbe il suo effetto. Si comprende altresì facilmente che per fare scorrere un corpo sopra un piano, la forza deve essere diretta parallelamente al piano medesimo, per ottenere il massimo effetto. Le tirelle devono perciò essere disposte parallelamente al piano della strada, affinchè il cavallo attaccato al cocchio od al carro non consumi inutilmente la forza di trazione. In alcuni casi però le tirelle sono un poco inclinate verso il

Digitized by Google

carro, forse allo scopo che nei carichi molto pesanti l'animale deve fare spesso un grande sforzo portando il petto verso terra e facendo prendere alle tirelle medesime la direzione parallela alla strada. L'inclinazione riesce inoltre utile, quando la carrozza o il carro deve scorrere sopra una strada fangosa e sabbionosa, od un terreno ineguale, perchè allora, per la decomposizione della forza obliqua di trazione, porzione di essa tende a sollevare le ruote davanti ed a toglierle dall'ostacolo, che devono superare sulla strada.

267. Col parallelogrammo delle forze si può sciogliere facilmente il seguente problema: *Posto un uomo di dato peso colle gambe che facciano un differente angolo coll'orizzonte, determinare la pressione che ciascun piede esercita verticalmente sul terreno.* Chiamando a, b gli angoli che le due gambe fanno rispettivamente coll'orizzonte, P il peso del corpo, e p, q le due pressioni esercitate verticalmente da ciascun piede, si trova per esse $p=\frac{P.\,sen.\,a.\,cos.\,b.}{sen\,(a+b)}$, $q=\frac{P.\,sen.\,b.\,cos.\,a}{sen.\,(a+b)}$

Se il terreno è orizzontale risulta $a=b$ e le due pressioni verticali diventano eguali. Gli sforzi che in questo caso si esercitano in opposto verso sulla linea orizzontale congiungente i piedi si trovano rispettivamente espressi da $\frac{P.\,cos.^2 a}{sen.\,2a}$. Succede la stesso nella spinta orizzontale delle volte.

268. Un uomo deve attraversare un fiume sopra una barca e portarsi dall'una all'altra riva opposta nella direzione perpendicolare alla corrente. Quando spingesse col remo la barca secondo questa perpendicolare, la barca medesima prenderebbe un moto composto delle due velocità, l'una comunicatale dal rematore e l'altra dalla corrente, prendendo la via della diagonale del parallelogrammo formato colle rette rappresentanti quelle velocità. Bisognerà quindi che la barca sia spinta col remo secondo una linea che faccia un angolo più o meno ottuso colla direzione della corrente a norma della maggior o minor forza di questa; oppure che si porti da prima rasente la sponda del fiume ad un luogo superiore avanti di spingere la barca normalmente al medesimo e quindi di attraversarlo. Chiamando f la velocità della corrente, ed F quella che l'uomo imprime alla barca, ed R la risultante perpendicolare ad f, si avrà $F^2=f^2+R^2$. Chiamando poi ϖ l'angolo opposto al lato della forza f, ossia l'angolo che misura l'inclinazione

della retta, secondo cui deve essere diretta la spinta del remo, si ha $sen.\ x=\frac{f}{F}$. Se f è la metà di F, risulterà $sen.\ x=0,5$, e per conseguenza l'angolo $x=30$ gradi.

269. Quando i due lati del parallelogrammo sono eguali, è chiaro dalla geometria che la diagonale divide per metà l'angolo ch'essi fanno. Egli è chiaro che gli uccelli nel volare urtando egualmente colle loro ale l'aria, imprimono al loro corpo delle uguali velocità AC, BC fra loro ad angolo (fig. 30), le quali hanno per risultante DC diretta nel suo prolungamento per l'asse del corpo dell'animale. Il moto perciò risulta secondo questo stesso asse. Volendo deviare dal cammino rettilineo preso, l'urto delle ale contro l'aria viene dall'uccello fatto inegualmente, ed allora piega a destra o a sinistra secondo che l'urto vien fatto maggiore dall'una o dall'altra parte.

Parimenti l'uomo nel nuoto urta l'acqua colle mani e coi piedi, in cui si generano due paia di forze AC, BC, *ac*, *bc* fra loro ad angolo (fig. 31), che hanno rispettivamente le risultanti DC, *dc* dirette secondo l'asse del corpo. Lo stesso è dei pesci nel nuoto, le cui risultanti DC, *dc* (fig. 32) sono dirette secondo l'asse del corpo dell'animale.

270. Le navi si possono considerare come pesci artificiali, spinte pure esse da forze eguali disposte collo stesso ordine da una parte e dall'altra del loro piano d'euritmia. Queste forze eguali sono prodotte nelle piccole barche dall'impulsione dei remi mossi dagli uomini, e nei battelli a vapore dall'urto delle pale delle ruote contro l'acqua. Egli è per ciò che si movono secondo il piano d'euritmia della nave stessa, quando la direzione non sia variata da una terza forza, che nasce dall'urto dell'acqua contro il piano del timone.

Le navi a vela offrono pure un'applicazione del principio del parallelogrammo delle forze. Sia AB l'asse del bastimento (fig. 33) ed MN la proiezione d'una vela appoggiata contro un albero in C. Rappresenti VC in grandezza e direzione l'impulsione del vento contro la vela e, costruendo il parallelogrammo rettangolo VRCS, si risolva VC in due forze SC; RC: la prima SC sfuggirà lungo la direzione della vela MN e non produrrà alcun effetto per far progredire in avanti il bastimento. Ma RC si può decomporre in due altre forze: la prima PC nel verso dell'asse del naviglio e tende quindi a farlo avanzare secondo l'asse medesimo; l'altra QC perpendicolare a quest'asse, per la quale si produce un movimento laterale che si chiama *deriva*. Egli è per ciò che nella costruzione dei bastimenti e nella

disposizione delle vele, come pure nelle diverse manovre durante la navigazione, tutto deve essere combinato in modo che la forza PC risulti massima e l'altra QC produca la minima deriva.

Per meglio apprezzare queste considerazioni, si noti con a l'angolo VCA, che fa la forza impulsiva del vento coll'asse della nave, e con b l'angolo ACM d'inclinazione della vela con l'asse medesimo; infine si denomini con f la forza d'impulsione VC, si avrà
$f : RC :: 1 : \text{sen.}\ (a+b)$, e per conseguenza la forza agente normalmente alla vela risulterà $RC=f.\ \text{sen.}\ (a+b)$. Inoltre si ha anche $RC : PC :: 1 : \text{sen.}\ b$, e quindi $PC=RC\ \text{sen.}\ b$, ossia
$PC=f.\ \text{sen.}\ b.\ \text{sen.}\ (a+b)$. Dove si apprende che nel caso di $b=o$, ossia del piano della vela nella direzione dell'asse della nave, è sen. $b=o$, per cui risulta $PC=o$. Se poi $b=90$, allora diventa sen. $b=1$, e quindi per la forza diretta a far avanzare il bastimento si ha $PC=f.\ \text{sen.}\ (a+b)$, dove s'impara che si ottiene il massimo effetto quando $a=o$, perchè allora diventa $PC=f$, vale a dire che tutta la forza è diretta a far avanzare il bastimento.

271. Le ale dei mulini a vento si presentano sotto un dato angolo inclinato all'impulsione dell'aria in movimento. Si può pure col parallelogrammo delle forze riconoscere quai porzione di forza è diretta a far girare il mulino. Lo stesso è della *cometa* o del *cervo volante*, il quale è il giuoco, che sogliono fare i fanciulli con un piano di carta o di altra materia poco pesante tenuto disteso con bacchette e tirato velocemente mediante una funicella. La forza impulsiva, obliqua alla cometa, può essere decomposta in due: l'una nella direzione del piano di essa, che non produce verun effetto, l'altra normale al medesimo. Quest'ultima si decompone pure in due dirette rispettivamente secondo la funicella e la verticale; la prima si oppone e stira la funicella; la seconda agisce dal basso all'alto verticalmente ed innalza il cervo volante. Chiamando f la forza impulsiva dell'aria, ed a l'angolo che il cervo volante fa coll'orizzontale o colla direzione della forza impulsiva dell'aria, e supponendo la funicella tirata orizzontalmente; è facile a dimostrare che la forza verticale, per la quale viene innalzato il cervo volante, è $x=f.\ \text{sen.}\ a\ \cos.\ a$ Nel caso di $a=90$ gradi, ossia dell'impulsione dell'aria normalmente al piano del cervo volante, risulta $\cos.a=o$, e per conseguenza $x=o$. Parimenti essendo $a=o$, ossia il cervo volante si muove fendendo l'aria, è sen. $a=o$, e risulta pure $x=o$. Non vi sarà dunque elevazione del cervo volante nei due casi contemplati.

272. La freccia nell'arco viene lanciata dalla risultante delle due

forze di tensione della corda dell'arco stesso. Le corde dell'arpa hanno una grande tensione per portarle al tuono conveniente, e due uomini robusti potrebbero tenerle con difficoltà tese al pari dei bischeri sullo strumento. A malgrado di questa grande tensione, basta la fievole forza del dito d'una giovinetta per piegarle. Col principio del parallelogrammo delle forze si dà ragione di tal'effetto. Si dà del pari ragione della facilità con cui una fune stirata si fa scorrere nel cappio fatto all'altra estremità, e si lega strettamente un oggetto qualunque. A tal fine con una mano si tira il capo della fune, mentre con l'altra si prende pel suo mezzo la fune stessa tirandola e ponendo le due metà sotto un angolo molto ottuso, e con questa debole forza si giunge a stringere il laccio.

273. Un uomo s'innalza dal mezzo del palco scenico del teatro con un congegno, posto in alto, somigliante ad una machinetta, che si trova nei gabinetti di fisica per dimostrare il parallelogrammo delle forze.

Sopra una specie di telaio quadrato ABCD (fig. 34) fatto di assicelle vi sono assicurati e tesi parallelamente fra loro due fili *mn*, *pq* di metallo. Su di essi si appoggiano per le loro scanalature due rotelle congiunte con un asse R. Un cordoncino di seta è attaccato per un capo all'angolo D del telaio, ed accavallandosi all'asse R, pende verticalmente portando all'altro capo il peso P. Il cordoncino ha la lunghezza eguale ad un lato del quadrato; talchè, quando l'asse R si trova contro l'angolo D del telaio, il peso P corrisponde all'angolo adiacente inferiore C. Un altro cordoncino è attaccato all'asse R e si avvolge ad un cilindro disposto in A, che si fa girare col mezzo del manubrio M. Fra A, C avvi teso un filo di metallo secondo la diagonale del quadrato. Facendo girare il cilindro, si avvolge su di esso il cordoncino corrispondente, il quale tira e fa scorrere l'asse R lungo i fili *mn*, *pq*. Nell'avanzarsi orizzontalmente l'asse R, si raccorcia d'altrettanto il cordoncino verticale, da cui pende il peso P, e questo nell'innalzarsi è costretto a percorrere la diagonale CA. Il peso ascende lungo la diagonale in virtù della mano, la quale, nel girare il manubrio M, tira a sè col mezzo del cordoncino l'asse R. Nel tempo che si muove l'asse R, i fili di metallo reagiscono per semplice pressione sull'asse medesimo, e il peso P è costretto ad alzarsi a misura che si raccorcia il cordoncino, da cui pende, ed a percorrere la diagonale CA. Una tale reazione eguaglia il peso del grave, e non essendo una forza per se stessa attiva non può servire a dimostrare il principio del parallelogrammo delle forze, ma riceve invece

Digitized by Google

da questo la conveniente spiegazione. Imperciocchè la reazione dei fili e la tensione del cordoncino tirato dalla mano vengono ad essere due forze eguali ad angolo retto, che hanno per risultante la diagonale CA. Mentre la componente della mano fa descrivere ad R lo spazio orizzontale DA e la reazione dei fili *mn*, *pq* obbliga il peso ad innalzarsi verticalmente d'uno spazio eguale CD; il peso stesso per gli sforzi combinati della mano e della reazione dei due fili percorre la diagonale CA. Dunque con una velocità proporzionale al lato d'un quadrato si produce nel corpo un moto più celere proporzionale alla diagonale del quadrato medesimo. È in tal maniera che si eseguiscono i voli nelle rappresentazioni teatrali con un moto più celere di quello prodotto dalla forza attiva diretta a sollevare la persona che fa il volo.

274. Molte altre applicazioni offre il parallelogrammo delle forze, alcune delle quali si vedranno nel corso di questi Elementi. Ci siamo qui limitati a farne sentire l'importanza per la spiegazione di fenomeni e di effetti comuni. Un tal principio dà ragione della maniera d'azione di parecchie machine della scienza, dell'urto, del moto riflesso che ne nasce, e di tutti i movimenti prodotti da forze e da velocità impresse, dirette fra loro sotto un dato angolo.

Avanti di lasciare questo argomento facciamo osservare come la pratica di dare, alla faccia esterna delle porte delle fortezze, la forma di parecchie piramidi connesse per le loro basi a guisa di tante punte di diamante, è fondata sul principio del parallelogrammo delle forze. Imperciocchè con tale disposizione l'urto del proiettile non succede normalmente al piano, che passa pei cardini della porta stessa, ma si decompone in due forze una delle quali soltanto è diretta ad atterrare la porta. In tal modo l'impeto delle artiglierie contro la porta viene diminuito e minore ne riesce l'effetto.

275. Se due forze, applicate a diversi punti e fra loro parallele, sono dirette nello stesso verso, hanno per risultante la somma delle forze stesse, e se in verso contrario la differenza delle medesime. Ciò si deduce da quanto si è altrove dichiarato (§. 254 e 255). Nella composizione di due forze parallele la grandezza della risultante è tosto conosciuta dalle grandezze delle componenti date; rimane da determinare il suo punto d'applicazione, giacchè, in quanto alla direzione, la risultante deve, per le stesse condizioni del problema, essere parallela alle componenti.

Siano le due forze parallele F, *f* rappresentate dalle rette AC, BD (fig. 35) ed applicate ai punti A, B congiunti colla retta AB. La loro

risultante non verrà alterata da due forze eguali e direttamente opposte AT, BS, che agiscono contemporaneamente alle date e non disturbano l'effetto di queste. Il sistema è in tal caso sollecitato dalle quattro forze AC, AT e BD, BS; le quali, composte due a due, danno le risultanti AP. PQ. Queste risultanti è chiaro che prolungate devono concorrere in un punto O. Guidando da O la retta O*do* parallela alle forze date AC, BD; su di essa sarà diretta la risultante R delle forze medesime. Infatti, in quanto all'effetto, le due risultanti ad angolo equivalgono alle parallele date, e possono essere considerate tutte due applicate al punto O nella rispettiva direzione; per la ragione che l'effetto d'una forza non cambia applicandola a qualunque punto della retta, secondo cui essa esercita la sua azione. Si prenda pertanto O*p*=AP, O*q*=BQ, e si conduca la retta *st* pel punto O parallela ad AB, componendo i parallelogrammi O*tpc*, O*sgd*. In tal modo, invece delle due forze O*p*, O*q*, potremo considerare le quattro componenti O*t*, Os ed Oc, O*d*, le quali riusciranno rispettivamente eguali alle componenti AT, BS ed AC, BD per l'eguaglianza dei parallelogrammi trasportati ambidue dai punti A, B nel punto O. Sarà quindi anche O*t*=Os, che per essere direttamente contrarie si elidono, e rimangono le due forze Oc, O*d*, che eguagliano le due F, *f*. Dunque si verifica quanto si è precedentemente asserito, cioè la risultante R=F+*f* ed agisce parallelamente alle due componenti e nel medesimo verso di esse.

Per determinare il punto d'applicazione *x* d'intersezione della risultante colla retta di congiunzione AB, si osservi che i triangoli simili OPc, OA*x* danno la proporzione

$$Oc : cP :: Ox : xA, \text{ ossia } F : Ot :: Ox : xA.$$

I triangoli simili O*qd*, OB*x* somministrano egualmente l'altra proporzione *f* : O*t* : : O*x* : *x*B, dalle quali si deduce F : *f* : : *x*B : *x*A. Si apprende quindi che la *risultante divide la retta di congiunzione AB in parti xA, xB reciprocamente proporzionali alle forze F, f.*

276. Una forza R qualunque si potrà dunque risolvere in due altre F, *f*, parallele alla data e formanti nella loro somma una grandezza eguale alla medesima, prendendo i punti d'applicazione A, B in modo che la retta congiungente A B sia intersecata dalla risultante in un punto *x* tale che le parti *x*A, *x*B siano reciprocamente proporzionali alle forze F, *f*. Che se siano dati gl'intervalli *x*A, *x*B della retta congiungente, le forze F, *f* dovranno dare una somma eguale ad R ed essere reciprocamente proporzionali agli intervalli medesimi.

277. Si abbiano ora due forze parallele agenti in opposto verso e si tratti di determinare la loro risultante. Siano F, f le due forze proposte rappresentate dalle rette AC, BD (fig. 36); si risolva AC in due (§. 276) l'una BE eguale e contraria a BD, l'altra $R=F-f$ applicata sul prolungamento di BA ad un punto x tale che xA, AB riescano reciprocamente proporzionali ad R, f. Egli è chiaro che delle due forze BE, R, in cui è decomposta F, la prima verrà elisa dall'eguale e contraria f, e rimarrà la sola R che sarà la risultante delle due date F, f. Siccome poi per costruzione sta $F-f : f :: AB : xA$; così sarà anche componendo $F : f :: xB : xA$. Si apprende quindi che la *risultante, nel caso di due forze parallele F, f in opposto verso, è eguale alla differenza di esse forze, agisce parallelamente dalla parte della maggiore ed è applicata ad un punto x tale che gl'intervalli xA, xB da quel punto sono in ragion inversa delle stesse forze F, f.*

278. Chiamando quindi F, f le due componenti, R la loro risultante, a, b gl'intervalli sulla stessa retta che separano i punti d'applicazione delle due prime forze da quello della terza, e c l'intervallo fra i due primi punti, si avrà $f : F :: a : b$, ossia

$$f : F+f :: a : a+b,$$

per cui $f : R :: a : c$. In un modo consimile si ottiene $F : R :: b : c$. Dunque in generale per le forze parallele agenti dalla stessa parte si ha $f : F : R :: a : b : c$.

Per le forze parallele agenti in contrario verso, ritenendo le stesse denominazioni, si ha pure $f : F :: a : b$, ossia $f : F-f :: a : b-a$, oppure $f : R :: a : c$. Per conseguenza risulta egualmente

$$f : F : R :: a : b : c.$$

Si verificheranno quindi pei due casi le relazioni $\frac{f}{a}=\frac{F}{b}=\frac{R}{c}$; nelle quali è $R=F+f$ quando le due componenti sono dirette dalla stessa parte, ed $R=F-f$ quando le medesime agiscono da parte contraria. Talchè nel primo caso se è $F=f$, si ha $R=2F=2f$ e quindi $\frac{f}{a}=\frac{2f}{c}$; $\frac{F}{b}=\frac{2F}{c}$, dalle quali si ricava $a=\frac{1}{2}c$ e $b=\frac{1}{2}c$; cioè *nel caso delle componenti eguali, esse sono applicate a punti egualmente distanti dal sito ove agisce la risultante.* Nel caso poi di forze parallele contrarie ed eguali, essendo $R=F-f=o$, risulta $\frac{f}{a}=\frac{o}{c}$, $\frac{F}{b}=\frac{o}{c}$ e quindi $a=\frac{fc}{o}=\infty$, $b=\frac{Fc}{o}=\infty$; questo

significa che la risultante sarebbe nulla ed applicata ad una distanza infinita dai punti, nei quali agiscono le componenti, ciò che non ha un significato reale. Due forze parallele eguali e contrarie non hanno dunque risultante, per la quale il corpo possa progredire in linea retta. Le due componenti in tal caso tenderebbero a far girare la linea di congiunzione dai loro punti d'applicazione intorno al suo punto di mezzo, effetto che non potrebbe essere equilibrato da una terza forza.

279. Tre o un maggior numero di forze parallele si compongono nell'egual maniera, incominciando dalla composizione di due di esse, e poscia procedendo alla composizione della risultante di queste colla componente che segue e così delle altre. Tra tutte le componenti e le risultanti che di mano in mano si ottengono, si avranno le relazioni precedentemente espresse.

280. Importa di notare che il punto d'applicazione della risultante è indipendente dall'angolo, che le direzioni delle forze formano colla retta di congiunzione. Per quanto le forze si rivolgano per qualunque verso, prendano qualunque inclinazione con quella retta, conservando però sempre fra loro il parallelismo, ha sempre luogo la proporzionalità degl'intervalli della retta medesima colle forze, ed il punto d'applicazione della risultante mantiene ancora la stessa posizione per rispetto agli altri due. Questo vale tanto che le forze parallele agiscano per lo stesso verso, quanto ch'esse esercitino la loro azione in verso contrario.

Il punto, pel quale passa la risultante delle forze parallele, si chiama perciò *centro delle forze parallele*; giacchè in esso si può concepire concentrata o riunita l'azione totale delle forze stesse, ed un sistema di tal genere si riduce così ad un sol punto sollecitato da un'unica forza. Una volta che questo punto sia sostenuto o reso immobile, anche tutto il sistema viene del pari sostenuto ed equilibrato in qualunque posizione si trovi.

281. Abbiamo già fatto conoscere come una data forza può essere decomposta in due ad essa parallele (§. 276); ora possiamo dichiarare in quali casi il problema è determinato, ed in quali casi è indeterminato. Tutti questi casi si riducono ai seguenti:

I. Data la forza R da decomporsi senz'altra condizione intorno alle due componenti, il problema riesce indeterminato. Imperocchè, quand'anche si sappia che le due forze devono agire, per esempio, dalla stessa parte, le precedenti equazioni, $\frac{f}{a} = \frac{R}{c}, \frac{F}{b} = \frac{R}{c}$, ed

$R=f+F$ (§. 278), non fanno conoscere nè i valori di f, F, nè gl'intervalli a, b.

II. Siano dati, oltre la forza da risolversi, i punti d'applicazione delle due componenti, allora il problema presenta una sola soluzione. Infatti sono noti in tal caso gl'intervalli a, b e quindi anche $c=a+b$, oppure $c=b-a$, secondo che il punto d'applicazione della risultante si trova compreso o non compreso fra quelli delle due componenti, secondo cioè che le due forze debbono agire per lo stesso o per contrario verso: e dalle precedenti equazioni si hanno le due componenti $f=\frac{aR}{c}$, $F=\frac{bR}{c}$. Le due forze, quando sia $c=b-a$, agiranno dall'opposto lato avendosi $R=F-f$, e trovandosi la risultante R dalla parte della maggiore F (§. 277).

III. Quando sia data la grandezza d'una componente F ed il punto d'applicazione dell'altra f: allora è noto b come pure f per essere $f=R-F$, oppure $f=F+R$, secondo che le due componenti debbono esercitare la loro azione per lo stesso o per l'opposto verso. Dalle equazioni su rammentate si ottiene $c=\frac{R-b}{F}$, e quindi, per essere $a+b=c$, si ha $a=c-b$, e quando sono opposte $a=b-c$.

IV. Allorchè si conosce la grandezza della componente F ed il suo punto d'applicazione, risultano noti a ed f. Per ciò dalle predette equazioni si ha altresì $c=\frac{R.a}{f}$, e $b=c-a$ oppure $b=c+a$ secondo che le due forze agiscono per la stessa o per contraria direzione.

V. Finalmente sia data la grandezza della forza R da risolversi, e quelle delle due componenti f, F. In questo caso il problema riesce indeterminato. Poichè in ciascuna equazione $\frac{f}{a}=\frac{R}{c}$, $\frac{F}{b}=\frac{R}{c}$ si contengono due incognite: e d'altronde riducendosi esse alla sola $\frac{f}{a}=\frac{F}{b}$ entrano pure in questa le due incognite a, b. Qualunque valore quindi si dia ad a se ne avranno per b altrettanti che scioglieranno il problema, il quale riesce per tal modo indeterminato, avendo un numero indefinito di soluzioni.

Digitized by Google

Osserviamo che nelle appplicazioni alla pratica delle arti, della risoluzione d'una data forza in due parallele, è sempre meglio che il problema abbia parecchie soluzioni, cioè sia indeterminato; giacchè in questo caso si possono introdurre quelle condizioni più convenienti per renderlo determinato.

282. Allorquando una forza proposta debba risolversi in più di due ad essa parallele, il problema nella maggior parte dei casi riesce indeterminato. Se ne presentano però alcuni in cui il problema è determinato, fra i quali sono quelli, di cui qui presentiamo i risultati, lasciando il processo per giungere ai medesimi per esercizio degli scolari.

I. Una forza R è applicata ad un punto G, e si tratta di risolverla in tre altre parallele da applicarsi ai punti A, B, C (fig. 37). Si riuniscano i punti A, B, C formando il triangolo ABC; nel quale si supporrà dapprima trovarsi il punto G cui è applicata la R da decomporsi; si guidino inoltre da G tre rette ai punti A, B, C, e si prolunghi qualcheduna di queste, per esempio AG, fino ad incontrare il lato opposto in D. Con questa costruzione si dimostra che *ciascuna delle quattro forze, la risultante e le componenti, è proporzionale all'area del triangolo formato dall'unione dei punti d'applicazione delle altre tre.* La soluzione vale anche nel caso che il punto G cada fuori del triangolo ABC.—Sarà facile determinare il carico che regge ciascun piede d'un tavolino sostenuto da tre dei medesimi ed aggravato d'un peso posto in un dato punto sul medesimo. — Si osservi che per la dimostrazione bisogna dapprima decomporre la data forza R nelle due P, X, e poscia quest'ultima nelle due F. *f.*

II. Decomporre una forza in quattro altre parallele da applicarsi ad altrettanti punti, dalla cui unione risulta un parallelogrammo. Si conduca dal punto d'applicazione della forza data due rette parallele rispettivamente ai lati del parallelogrammo; questo verrà con ciò diviso in quattro parallelogrammi differenti. Coi principii su esposti si dimostra che *ciascuna delle quattro forze componenti è proporzionale al parallelogrammo opposto, mentre la risultante è rappresentata dall'intero parallelogrammo compreso dai quattro punti d'applicazione delle medesime.*—Si determinerà facilmente con questo la porzione di carico che regge ciascun piede d'un tavolo comune, sul quale riposa un peso dato.

III. Sia proposta una forza, applicata ad un dato punto, da risolversi in quattro ad essa parallele e da applicarsi a quattro punti situati nello spazio, nella cui unione risulta una piramide triangolare.

Digitized by Google

Si trova egualmente che *ciascuna delle cinque forze, la risultante e le quattro componenti, è proporzionale alla piramide che ha per vertici i punti d'applicazione delle altre quattro.*

283. Il centro delle forze parallele non cambia la sua posizione, nè la risultante ad esso applicata non varia di grandezza, quando tutte le forze, senza essere rimosse dai loro punti d'applicazione, prendono qualunque altra direzione, conservando sempre fra loro il parallelismo (§. 280). Questa proprietà è feconda di molte applicazioni e di grande importanza per la meccanica e per l'industria.

Un corpo è costituito dalla riunione d'un gran numero di piccole particelle di materia (§. 2), le quali sono attratte verso la terra da forze, le cui direzioni possono essere considerate come parallele (§. 122). Quando dunque un grave si volge e si rivolge per ogni banda e per ogni verso, se in ciascuna posizione si cerca il sito dove va ad essere applicata la risultante dei pesi d'ogni singola molecola, si trova sempre un medesimo *punto*, siccome centro delle forze parallele di gravità, di cui ognuna di esse è dotata. Questo punto rimarchevole d'una massa definita prende il nome di *centro di gravità*; ed in esso, qual centro delle forze parallele, si può considerare come riunito tutto il peso del corpo. Talchè quando sia sostenuto un tal punto, il corpo è del pari sostenuto, qualunque sia la posizione, che gli vien data; se esso s'innalza, la massa intera viene pure innalzata; se si arresta, la massa intera si trova egualmente arrestata; ed infine se discenda od ascende, la massa intera deve similmilmente discendere od ascendere.

284. Da quanto si è dichiarato, è chiaro che i *corpi euritmetici* intorno ad un punto, ad una linea o ad un piano, *hanno il centro di gravità in quel punto, in quella linea, in quel piano.* Così la linea retta pesante, rappresentata da un filo metallico omogeneo e di egual grossezza in tutta la sua estensione, ha il centro di gravità nel suo punto di mezzo, intorno al quale sono distribuite in euritmia tutte le molecole pesanti ed eguali, di cui è composta. Queste molecole infatti formano tante coppie di forze eguali ed egualmente distanti dal punto di mezzo, per cui ciascuna coppia avrà la risultante applicata in tal punto (§. 278), e quindi *il centro di gravità di tutte le coppie o della linea retta pesante è nel suo punto di mezzo.*

285. Vi sono parecchie figure che sono euritmetiche relativamente ad una retta, e dalla quale vengono per ciò divise in due parti esattamente eguali tanto per riguardo alla loro area che al loro perimetro. Questa retta chiamasi appunto *asse d'euritmia* della figura.

Digitized by Google

Se queste figure sono formate di materia pesante, omogenea e d'egual grossezza in tutte le parti, è chiaro che avranno, tanto per rispetto alle loro aree che ai loro perimetri, il centro di gravità sull'asse d'euritmia. Imperciocchè si hanno tante coppie di forze di gravità eguali ed egualmente distanti, a ciascuna delle quali si può applicare il ragionamento precedente, e dimostrare che il centro di esse forze cade su quella retta, e quindi il centro di gravità dell'intera figura e del suo perimetro sull'asse d'euritmia. Si ha dunque in generale che *il centro di gravità di qualunque superficie piana euritmetica cade sull'asse d'euritmia*. Questo principio trova parecchie applicazioni, e ci servirà a stabilire il centro di gravità di alcune figure e di alcuni solidi della geometria, che sono euritmetici intorno ad una retta.

286. Il *triangolo equilatero*, il *rettangolo*, il *poligono regolare* hanno un asse d'euritmia comune ai loro perimetri ed alle loro superficie. Quest'asse, nel triangolo equilatero, è la linea condotta da un angolo alla metà del lato opposto; nel rettangolo, è la retta congiungente i punti di mezzo di due lati opposti; e finalmente nel poligono regolare d'un numero pari di lati, è una delle diagonali o la linea guidata pel vertice di due angoli opposti, e, in quello d'un numero dispari di lati, l'asse d'euritmia coincide colla linea tirata dal vertice d'un angolo alla metà del lato opposto. Il centro di gravità di queste figure, tanto per rappòrto ai loro perimetri come per rapporto alle loro superficie, si trova dunque sull'asse d'euritmia. Siccome poi in ciascuna figura si possono condurre per lo meno due assi d'euritmia; così il loro centro di gravità vien ad essere nel punto d'intersezione dei due assi, il qual punto è anche il centro di figura. Per tal modo *il centro di gravità del triangolo equilatero è nel punto d'intersezione delle due rette guidate dai vertici di due angoli alla metà di ciascuno dei lati opposti. Il centro di gravità del rettangolo si trova nel punto, dove s'intersecano le due rette congiungenti rispettivamente la metà dei lati opposti*; il qual punto coincide coll'intersezione delle due diagonali dello stesso rettangolo. Finalmente *il centro di gravità del poligono regolare è situato nel punto, dove vengono ad intersecarsi due diagonali condotte rispettivamente dai vertici di due angoli ai vertici degli angoli opposti, se il poligono ha un numero pari di lati*; o *alla metà di ciascuno dei due lati opposti se il poligono è formato da un numero dispari*.

Si può sperimentare il centro di gravità delle predette figure, come di altre, tagliandole da un foglio di carta consistente ed omogeneo in ogni sua parte.

287. Il *cerchio*, l'*elisse*, la *parabola* ed altre figure, contemplate dalla geometria, sono euritmetiche tanto per riguardo al loro contorno quanto alla loro superficie. Qualunque diametro nel cerchio è l'asse d'euritmia della periferia e della superficie; per conseguenza *il centro di gravità del cerchio risiede nel suo centro di figura*, che è il punto dove s'intersecano i diametri. Uno qualsiasi dei due assi dell'elisse è anche asse d'euritmia del contorno e della superficie di questa figura; perciò *il centro di gravità dell'elisse è nel suo centro di figura.*

La parabola ha una sola linea d'euritmia, che è lo stesso asse di figura, per cui il centro di gravità risiede su questa linea. Si prova poi colla geometria che *il centro di gravità d'un segmento di parabola è ai 3/5 della saetta a partire dal vertice*. Un *arco*, un *segmento* ed un *settore di cerchio* hanno per asse d'euritmia il raggio condotto dalla metà dell'arco; per conseguenza tanto la linea curva dell'arco, quanto la superficie chiusa dalla corda che forma il segmento, e l'altra compresa dall'arco stesso e dai due raggi estremi che costituisce il settore, hanno il loro centro di gravità sul raggio che divide per metà l'arco, senza però averlo nello stesso punto.

Denominando con a la lunghezza dell'arco, c la corda ed r il raggio, è facile di riconoscere che *il centro di gravità dell'arco di cerchio è posto sul raggio guidato sulla sua metà e ad una distanza dal centro espressa da* $\frac{cr}{a}$. *L'area del segmento del cerchio ha il centro di gravità alla distanza dal centro espressa da* $\frac{{}^1/_{12}\, c^3}{s}$, dove s rappresenta la superficie del segmento medesimo. Pel *settore circolare la distanza del centro di gravità da quello di figura risulta di* $\frac{2}{3} \cdot \frac{rc}{a}$. *Il centro di gravità della calotta sferica è situato nel punto di mezzo della saetta.*

288. Si trova il centro di gravità delle figure, che non hanno un asse d'euritmia, immaginandole divise nei loro elementi o in tante listerelle o rette pesanti, il cui centro di gravità risiede nel loro punto di mezzo (§. 284). Un triangolo qualunque ABC si compone di tante rette pesanti parallele al lato AB (fig. 38), le quali avranno tutte il loro centro di gravità sulla linea CE condotta dal vertice C alla metà E del lato opposto AB, la quale linea si sa per la geometria che divide per metà tutte le rette parallele ad AB. Congiunto il vertice

dell'altro angolo B col punto di mezzo D del lato opposto AC, dovrà essere per la stessa ragione il centro di gravità, degli elementi del triangolo paralleli ad AC, sulla linea BD. Il centro di gravità della somma di tutti gli elementi o di tutto il triangolo ABC, deve dunque trovarsi contemporaneamente sulle linee CE, BD, e quindi nel loro punto d'intersezione G.

Volendo determinare la posizione di questo centro G, si tiri la retta ED, la quale, per la geometria, riuscirà parallela a BC. Dai triangoli simili BAC, EAD e dagli altri BCG, DEG si ha:

$$2 : 1 :: BA : EA :: BC : ED :: CG : GE$$

Dunque $GE = 1/2\ CG = 1/3\ CE$; e per conseguenza $CG = 2/3\ CE$. Da cui si apprende che *il centro di gravità del triangolo risiede sulla linea congiungente il vertice d'un angolo col punto di mezzo del lato opposto, a due terzi dal vertice e ad un terzo dalla base.*

Siano tre pesi eguali nei vertici del triangolo ABC: è chiaro che i due pesi in A, B hanno il centro di gravità nel punto di mezzo E della retta AB, dove si potranno considerare i due pesi medesimi. Congiungendo ora il punto E coll'altro peso C, il centro di gravità dei tre pesi cade in G posto ad 1/3 di CE dalla retta AB (§. 275); vale a dire che *il centro di gravità della superficie del triangolo coincide con quello di tre pesi eguali posti ai suoi vertici.*

Importa di notare che non va confuso il centro di gravità della superficie del triangolo con quello delle tre rette pesanti, di cui è formato il suo perimetro. Si dimostra facilmente colla geometria che *il centro di gravità del perimetro d'un qualunque triangolo* ABC *coincide col centro di figura del cerchio inscritto nel triangolo* DEF *risultante dall'unione dei tre punti di mezzo dei lati del proposto.*

289. Per avere il centro di gravità di un poligono qualunque, si divide esso in triangoli, i quali si possono considerare come altrettanti pesi proporzionali alle loro rispettive superficie e concentrati nel centro di gravità di ciascun triangolo. Si avranno così tante forze parallele delle quali si trova facilmente il punto per dove passa la risultante (§. 279), che riesce il centro di gravità del poligono (§. 283).

Se il poligono è in parte regolare si può considerare diviso nei suoi elementi lineari pesanti ed applicare ad essi lo stesso ragionamento come nella determinazione del centro di gravità del triangolo. Appunto il trapezio ha il centro di gravità sulla retta congiungente i punti di mezzo dei due lati paralleli; talchè si troverà il centro

Digitized by Google

stesso nel punto d'intersezione di quella retta coll'altra, che unisce i centri di gravità dei due triangoli, in cui viene diviso dalla sua diagonale. Si dimostra poi che *il centro di gravità del trapezio, è posto sulla retta congiungente le metà dei due lati paralleli e distante dal maggiore di questi lati d'un intervallo espresso da* $\frac{a}{3} \cdot \frac{m+2n}{m+n}$, dove a è la lunghezza della nominata retta, m il lato maggiore ed n il minore.

Il parallelogrammo ACBH (fig. 88) è formato di due triangoli perfettamente eguali ABC, ABH, ciascuno dei quali ha il centro di gravità sulla diagonale CH e ad eguale distanza dal punto E, che è il punto d'intersezione coll'altra diagonale. Dunque *il centro di gravità del parallelogrammo risiede nel punto d'intersezione delle sue due diagonali.*

290. Quando la superficie ha qualche grossezza, allora il centro di gravità giace sopra un piano, il quale passa per quello della superficie medesima; giacchè in tal caso si ha un solido colle tre dimensioni definite.

Un solido è euritmetico per rapporto ad un asse, quando ogni sezione, fatta perpendicolarmente all'asse, ha il suo punto d'euritmia sull'asse medesimo. Se quindi immaginiamo il solido diviso in gran numero di sezioni normali all'asse e fra loro molto vicine, si possono queste ritenere come semplici superficie pesanti, avente ciascuna il centro di gravità sull'asse. Il centro di gravità quindi del loro insieme verrà ad essere su quest'asse. Da ciò si deduce in generale che *i corpi solidi euritmetici per rapporto ad un asse hanno il loro centro di gravità sull'asse medesimo*, e quando abbiamo due assi di euritmia *il centro di gravità cade nell'intersezione degli assi stessi.*

Il poliedro regolare ha tanti assi d'euritmia quanti sono i suoi diametri. *Il centro di gravità quindi del poliedro regolare è nel punto, dove s'intersecano due dei suoi diametri*, il quale è anche il centro di figura.

Il prisma retto, che abbia per base un poligono regolare, ha due assi d'euritmia; uno dei quali è la retta che unisce i centri delle due basi, e l'altro il diametro del poligono risultante nel dividere per mezzo il solido con un piano perpendicolare all'asse. Nel punto d'intersezione di queste due rette risiede il centro di gravità del prisma, il quale centro è anche quello della sezione di mezzo. Dunque *il centro di gravità del prisma, avente per base un poligono regolare, risiede nel centro di figura della sua sezione di mezzo.*

291. Il *cilindro*, la *sfera*, l'*elissoide*, il *paraboloide* ed in generale tutti i solidi di rivoluzione hanno per lo meno un asse di euritmia, sul quale cade il centro di gravità del solido. Il *cilindro retto* ha due assi d'euritmia principali: l'uno è la retta che unisce i centri dei cerchi delle due basi; l'altro è un diametro della sezione circolare, che divide in due parti eguali il cilindro. *Il centro di gravità dunque del cilindro retto è nel centro del cerchio della sezione di mezzo, che è il punto d'intersezione dei due assi d'euritmia.*

Parimenti la *sfera* ha tanti assi d'euritmia, quanti sono i suoi diametri; talchè *il centro di gravità della sfera coincide col centro stesso di figura del solido.* Lo stesso si dica dell'*elissoide, il quale ha il suo centro di gravità nel centro di figura del solido.*

292. La *piramide triangolare* si può imaginare divisa in tante superficie triangolari, parallele alla base e sovrapposte le une alle altre, che vanno sempre diminuendo in grandezza a misura che si accostano al vertice, e tutte fra loro loro simili secondo insegna la geometria. Se quindi dal vertice della piramide si conduca una retta al centro di gravità della base; su tale retta deve cadere il centro di gravità del solido. Prendendo per vertice un altro angolo della piramide e condotta sulla base corrispondente una retta consimile, il centro di gravità bisogna che si trovi nel punto d'intersezione delle due rette. Con un ragionamento somigliante a quello precedente per la posizione del centro di gravità di qualunque triangolo, si giunge a dimostrare che *il centro di gravità della piramide triangolare è situato ad un quarto, contando dalla base, della retta che congiunge il vertice col centro di gravità della base medesima.* Lo stesso vale anche per qualunque piramide che abbia per base un poligono di maggior numero di lati del triangolo.

293. Il *cono* si può considerare come una piramide a base circolare, e quindi *il centro di gravità del cono è posto ad un quarto, partendo dalla base della retta che unisce il vertice col centro della base stessa.*

Nella geometria s'insegna a determinare il centro di gravità del *tronco di cono* e del *tronco di piramide*, come pure di altri solidi. Ma per la nostra scienza basta quanto abbiamo esposto. Noteremo però che *il centro di gravità dell'emisfero è ai 3/8 del raggio perpendicolare alla base, contando dal centro*, e che *il centro di gravità del segmento di paraboloide, è, contando dal vertice, ai 2/3 dell'asse del segmento della parabola, da cui è stato generato.* Chi volesse esercitarsi in queste indagini geometriche troverà che, chiamando *a* l'al-

tezza d'un tronco di cono, con R, r i raggi delle basi, *il centro di gravità del tronco medesimo è ad una distanza dalla base minore, la quale è espressa da* $\frac{1}{4}a.\frac{3R^2+2Rr+r^2}{R^2+Rr+r2}$. Parimenti notando con r il raggio della sfera, e con a l'altezza della calotta sferica corrispondente al settore sferico, *il centro di gravità dell'ultimo solido si trova sull'asse alla distanza dal centro espressa da* $\frac{3}{4}r - \frac{3}{8}a$.

In generale il centro di gravità di qualunque poliedro si ottiene dividendolo in piramidi, e considerando ciascuna piramide come una forza proporzionale al suo peso applicata al centro di gravità della piramide medesima.

294. Sino ad ora abbiamo parlato dei metodi geometrici per rinvenire il centro di gravità dei corpi, dove si suppone una perfetta omogeneità in tutte le parti della materia di cui si compongono. Il centro di gravità però varia di posizione quando i corpi siano formati di materia, che non abbia dappertutto l'egual densità e non sia in ogni sua parte il corpo stesso omogeneo. Nei fenomeni che presenta la fisica ben di rado si riscontra una perfetta omogeneità e l'eguale densità della materia componente i corpi. Appunto per ciò dobbiamo occuparci di qualche metodo sperimentale per la determinazione del centro di gravità dei corpi, di cui si occupa la nostra scienza.

I metodi, per trovare sperimentalmente il centro di gravità di qualunque massa, sono fondati sul principio seguente: *un corpo qualunque, mobile intorno ad un punto di sospensione o d'appoggio, non può essere in equilibrio, se non quando il suo centro di gravità ed il punto di sospensione od appoggio, si trovino sulla stessa verticale*, ossia nella direzione della gravità. Imperocchè il corpo sarà in riposo quando sia equilibrato dal punto di sostenimento. Ma il peso del corpo si può considerare raccolto nel centro di gravità (§. 283); dunque la forza per equilibrare l'azione del peso deve essere diretta secondo la verticale, che passa pel centro medesimo, e perciò il punto di sostenimento e il centro di gravità devono trovarsi sulla stessa verticale.

295. Sospeso un corpo successivamente per due differenti punti ad un filo o ad una funicella flessibile, la direzione del filo stesso prolungata passerà in ambidue le posizioni pel centro di gravità del corpo, e perciò il punto d'intersezione farà conoscere la posizione del centro medesimo.

Posto in bilico il corpo sopra un punto o sopra un sostegno acuminato in due posizioni differenti, e condotta in ognuna di quelle posizioni la verticale pel punto di sostenimento, su di essa cadrà il centro di gravità del corpo e per conseguenza il punto d'intersezione delle due verticali farà conoscere il sito dove trovasi il centro medesimo.

I due metodi si possono verificare coll'esperienza, trovando dapprima colle regole geometriche spiegate il centro di gravità, p. e. del triangolo (§. 288), del rettangolo (§. 286), del cerchio (§. 287) o d'altra figura piana fatta di carta consistente ed omogenea in ogni sua parte, e determinare poscia lo stesso centro con uno dei due metodi esposti, che si troverà lo stesso risultamento per la posizione del centro di gravità.

296. Le nostre sale, i nostri appartamenti sono ornati da quadri, da specchi, da lumiere, che si appendono per un punto a funi o a cordoncini attaccati alle pareti dei muri ed alla soffitta. Affinchè stiano in una data posizione è necessario che il punto di sostenimento sia scelto in modo da trovarsi sulla stessa verticale che passa pel centro di gravità. Importa dunque di determinare in tutti quei mobili un tal centro per istabilire la posizione del punto, a cui devono essere appesi.

297. La cognizione del centro di gravità giova altresì per giudicare della stabilità d'un corpo appoggiato sopra un piano od una base qualunque, o per collocarli o dirigerli in modo che possano difficilmente essere rovesciati e rovinare.

In generale osserveremo che un corpo, appoggiato sopra un piano orizzontale, starà fermo sulla sua base quando la verticale, che passa pel suo centro di gravità, cade entro la base medesima. Imperciocchè, per rimanere il corpo in una data posizione, è necessario che il suo centro di gravità sia sostenuto (§. 283). Siccome poi la risultante dei pesi delle singole molecole è applicata al centro di gravità e diretta secondo la verticale che passa per esso; così una tale direzione prolungata deve cadere su qualche punto di sostenimento o della base con cui si appoggia il corpo Da ciò si apprende che *avranno tanto maggiore stabilità quei corpi, quanto più ampia sarà la base sulla quale si appoggiano*, essendo in essi più difficile che la verticale, condotta pel centro di gravità, cada fuori della base medesima.

298. Il famoso campanile di Pisa e la torre della Garisenda di Bologna fanno meraviglia per la loro inclinazione di figura all'orizzonte, mentre sembrano ad ogni istante di cadere. I muri però, di cui sono

fatti questi edifizii, non hanno per tutto l'egual grossezza e il loro centro di gravità non corrisponde col loro asse di figura, per non essere euritmetici intorno al medesimo.

In generale questi edifizii pendenti sono meno stabili di quelli eretti verticalmente, i quali hanno il centro di gravità nel loro asse di figura. Quando essi fossero nella loro originaria costruzione innalzati così inclinati all'orizzonte, come alcuni credono, mostrerebbero, non solo la bizzarria, ma ben anche l'ignoranza di quei caliginosi e barbari tempi in cui furono costrutti.

299. Per mostrare nella scuola la stabilità delle torri ordinarie serve l'*apparato della torre pendente* (fig. 39) Sul piedestallo P riposa la torre di legno MNR, il cui centro di gravità è in *p*, da cui parte il *filo a piombo pq* che indica costantemente la direzione verticale, qualunque sia la pendenza della torre. Sinchè questa direzione passa per un punto della base MN colla quale riposa sul piano orizzontale MO, non si rovescierà dalla parte di M, e tosto che *pq* verrà a corrispondere fuori della base medesima il rovesciamento sarà inevitabile.

Il portabiti, posto verticalmente col suo asse A*a* (fig. 40), ha il centro di gravità sull'asse medesimo e quindi la posizione di maggiore stabilità. Aggravato d'un abito, il cui centro di gravità è in B, il centro di gravità di tutto il sistema del portabiti viene trasportato da A in C, e la verticale C*c*, che passa per esso, si discosta dall'asse centrale e si avvicina all'orlo della base, per cui il portabiti perde di stabilità. Ma se si appendessero alle caviglie d'intorno altri abiti d'egual peso ed uniformemente distribuiti, la stabilità massima sarebbe riacquistata.

300. Sul piano inclinato PQ si pongano corpi di diversa forma (fig. 41), cioè il cubo A, il cilindro G, il prisma esagonale E. Egli è chiaro che, cadendo sulla base la verticale AB condotta pel centro di gravità A, il cubo non rotolerà lungo il piano, mentre nel cilindro e nel prisma esagonale le verticali CD, EF, similmente condotte, cadono fuori della base, e i due corpi rotoleranno sul piano.

301. Un cilindro od una sfera fatti di materia non omogenea non hanno il centro di gravità nel loro centro di figura, per cui possono apparentemente colla loro figura ascendere lungo un piano inclinato, mentre il loro centro di gravità discende e con esso realmente discende tutta la massa del corpo (§. 283). Il fenomeno è conosciuto sotto il nome di *paradosso meccanico*. Un cilindro di legno è posto all'estremità inferiore di un piano inclinato (fig. 42). Il solido,

quando è omogeneo in tutta la massa, ha il centro di gravità sull'asse C (§. 291); ma, essendosi in G innestata una certa quantità di piombo, il solido stesso ha, nella data posizione, il centro di gravità più elevato e vicino al punto G. Questo centro incomincierà a cadere verso il basso, e nel cadere farà ascendere il centro di figura passando da C in C', ma in realtà il centro di gravità si sarà abbassato passando da G in G'.

La salita apparente d'un corpo si ottiene anche con un altro apparato conosciuto pure sotto il nome di *paradosso mecanico*. Il corpo AB (fig. 43), formato di due coni eguali congiunti per le loro basi, si colloca sul vertice di due regoli PC, QC riuniti per una loro estremità ed inclinati all'orizzonte. Il centro di gravità del corpo è nel centro di figura G, ed elevato sul piano orizzontale, dove riposano i regoli, dell'intervallo eguale al raggio GD più la distanza del punto inferiore della periferia dal piano. Ora il doppio cono progredendo sui regoli viene ad appoggiare sulla superficie sempre più rastremata e sale apparentemente lungo i regoli medesimi, mentre in realtà il centro di gravità G nella posizione opposta si è abbassato.

302. I *saltimpiedi* fatti di midollo di sambucco o di sovero zavorrati di piombo, che servono di trastullo alla fanciullezza, altro non sono che un'ingegnosa applicazione delle dottrine del centro di gravità. Essi, in qualunque posizione siano collocati sopra un piano orizzontale, si mettono sempre ritti verticalmente. Si compone il giuocolino della figurina ABD (fig. 44) di sovero o meglio di midollo di sambuco come meno pesante, e dell'emisfero di piombo BCD. Il centro di gravità della figurina è in N, quello dell'emisfero in M; ma, per la grande densità del piombo in confronto del midollo, il centro di gravità dell'intero giuocolino cade in G poco superiormente ad M. Quando la figurina si trova ritta sul piano, la verticale GM, condotta pel centro di gravità G, passa nel suo prolungamento pel punto di contatto dell'emisfero col piano, e quindi il giuocolino conserverà quella posizione. In qualunque altra però inclinata all'orizzonte e ben anche in quella orizzontale, la linea verticale GE, condotta pel centro di gravità G, non passa pel punto di sostenimento, e quindi il centro stesso prenderà un movimento, che farà raddrizzare la figurina, e si metterà nella posizione primitiva per essere sostenuto dall'opposizione del piano.

Lo stesso avviene d'una sfera formata di due emisferi, l'uno di piombo e l'altro di cera: dopo un certo numero di oscillazioni essa

si dispone coll'emisfero di piombo verso il basso e colla comune sezione dei due emisferi orizzontale.

303. L'elissoide situato sopra un piano orizzontale, quantunque formato di materia omogenea in tutta la massa, è dotato d'un sol punto d'equilibrio stabile, come la sfera formata metà di piombo e metà di cera. Quel solido ha il centro di gravità nel centro stesso di figura, ed un tal punto, qualunque sia la posizione dell'elissoide, può abbassarsi non meno distante dal piano della lunghezza del semiasse minore. Egli è per ciò che l'elissoide, disposto in qualsiasi maniera, si mette sempre, dopo un certo numero d'oscillazioni, coll'asse minore verticale. Tutti i corpi, che per la loro forma sono somiglianti all'elissoide, quando vengono allontanati dalla posizione d'equilibrio stabile, oscillano e dopo un certo numero di oscillazioni riprendono la posizione primitiva.

Il *cavallo ad altalena* per la fanciullezza, la *culla* per l'infanzia, sono altrettanti esempi del movimento oscillatorio prodotto dalla caduta e successiva ascensione del centro di gravità in virtù della velocità acquistata nella caduta (§. 248). Dallo stesso principio dipende un piccolo fantoccio a grosso ventre e di figura pingue, seduto sui piedi incrociati, che non si vedono e si posano sopra una superficie rotonda zavorrata di piombo. La natura ci offre un fenomeno consimile presso alcune coste dell'Inghilterra e in altri luoghi, dove alcuni massi, staccati in origine dalla rupe, riposano colla base rotondata sopra un piano orizzontale.

304. Il centro di gravità, dove è concentrata tutta la massa del corpo, tende sempre a cadere ed a prendere la posizione più bassa possibile. Quando il corpo ha preso una tale posizione, esso ha la maggiore stabilità, e qualunque altra, che gli si dia, lo rende meno stabile. Egli è per ciò che alcuni corpi sono stabili, altri hanno, per così dire, una posizione vacillante, ed altri non possono conservare certe posizioni, e vengono a cadere, a ribaltare o ad essere rovesciati. Alcuni corpi tanto per la loro forma, quanto pel modo con cui sono sostenuti, non hanno che una sola posizione di stabilità, che è quella medesima, in cui il centro di gravità occupa il sito più basso possibile; come è dell'elissoide e d'un corpo appeso ad un filo.

Su questo principio è costrutto l'*odometro*, ossia lo strumento che conta il numero dei giri della ruota della carrozza, con cui si viene a conoscere la lunghezza del cammino percorso. Un disco, fornito di denti, è facilmente girevole pel centro sopra un perno e collegato coll'estremità d'una verghetta, cui è appeso all'altra un grave a guisa

di pietre, e l'altro dell'eguale quantità in peso di fieno, il primo abbia più stabilità del secondo carro. Nel carro di pietre la verticale GR (fig. 47), condotta pel centro di gravità G, è discosta dalla linea MN, condotta perpendicolare all'asse delle ruote, d'un intervallo molto minore di quello che nel carro di fieno la verticale GD condotta pel corrispondente centro di gravità si discosti dalla relativa perpendicolare PQ all'asse delle ruote.

Si apprenda da questo come le carrozze e le *diligenze*, che hanno le casse molto elevate, riescono pericolose nei viaggi, e principalmente quando superiormente sono molto cariche. Oggidì la moda cittadina ha adottato una forma di carrozze, dove i sedili per le persone sono situati in una parte molto bassa; ciò che approssima di più al suolo il centro di gravità del veicolo col suo carico, e lo rende per tal modo di maggiore stabilità e difficile a ribaltare. È questa una delle poche volte, in cui le bizzarrie ed i capricci della moda vadano d'accordo colle dottrine della scienza. Si sono anche costruite delle *diligenze* dette *di sicurezza* pel trasporto di molti passeggeri. Le ruote hanno le razze inclinate all'infuori e per conseguenza presentano una base più larga al veicolo, ed inoltre i ripostigli pei bagagli ed i sedili dei posti esterni sono stati considerevolmente abbassati.

307. Per conservare al corpo la stabilità, quando se ne aumenta l'altezza, bisogna aumentare in proporzione la base su cui è appoggiato. Le seranne, destinate a sedervi i piccoli fanciulli per trovarsi a tavola allo stesso livello della loro madre, sono più alte delle comuni, ed appunto per tal ragione si dà loro una base maggiore incurvandone i piedi all'infuori. Un gran numero di arredi, di masserizie e di mobili delle nostre case e delle nostre abitazioni devono la loro stabilità ad una disposizione analoga.

Fra i solidi regolari della geometria, quello che presenta maggiore stabilità, appunto per l'altezza del centro di gravità in rapporto all'ampiezza della base, è la piramide triangolare chiamata *tetraedro* o *tetragono*. Dante quindi, per significare che si sentiva l'animo stabile e forte a sostenere le gravi sciagure dell'esiglio e dell'allontananza dal luogo nativo, scrisse metaforicamente con molta verità poetica (1):

Dette mi fur di mia vita futura
Parole gravi; avvegna ch'io mi senta
Ben tetragono *ai colpi di ventura.*

(1) Canto XVII del *Paradiso*, st. 8. 2.

308. Nella meccanica razionale, in quella usuale, e nelle arti in generale si presenta spesso il bisogno di conoscere il centro di gravità delle machine e delle loro parti fisse e mobili, e di parecchi corpi. Le dottrine esposte trovano altresì un'applicazione continua alla spiegazione di certi effetti, di certi movimenti, ed all'uso di parecchi attrezzi ed istrumenti comuni nelle diverse operazioni sociali. Nel carico dei veicoli a quattro ed a due ruote tirate da animali bisogna aver riguardo alla posizione del centro di gravità per ottenere un sistema stabile, non facile a ribaltare, e per non affaticare inutilmente l'animale. Lo stesso si dica delle carriuole e dei carretti condotti a mano dall'uomo, e dei pesi portati sul dorso dal facchino.

Molti carri e carrettoni ed alcuni cocchi hanno le razze delle ruote inclinate all'infuori, perchè si aumenta con ciò la loro stabilità (§. 297). Ma forse non tutti sanno che, pei veicoli molto carichi, vi ha un'altra ragione per dare alle razze una tale inclinazione. Quando la strada pende da un lato, il centro di gravità o tutto il peso del corpo (283) preme maggiormente sopra la ruota o le ruote poste verso il pendio; e si è appunto allora che le razze, con tale disposizione, agiscono direttamente e si trovano nella situazione più favorevole a resistere al cresciuto peso, che devono sostenere.

Non solo nelle machine importa di prendere in considerazione il centro di gravità delle loro parti e del loro insieme; ma ben anche nella costruzione e nel carico delle navi, e dei vascelli bisogna tener conto d'un tal punto, affinchè nei loro movimenti sia facilitato e reso più sicuro il cammino.

309. Il corpo dell'uomo ha il suo centro di gravità come ogni altro corpo; ma questo punto cambia di posizione quando l'uomo rimuove le sue membra o quando porta qualche peso. Quando l'uomo sta in piedi ritto sulla persona (fig. 48), il centro di gravità del suo corpo cade verso l'ombelico C. Il centro di gravità dell'uomo nella posizione mostrata dalla figura si è determinato col secondo dei due metodi insegnati (§. 295) ed osservando altresì che egli ha un asse d'euritmia situato sul piano verticale, che passa pel mezzo della testa, del naso, per l'ombelico e divide in giusta metà tutto il suo corpo.

L'uomo che si mette nell'attitudine indicata sarà dunque in equilibrio, perchè la verticale che passa pel centro di gravità del suo corpo, passa anche per la base dei piedi. Allargando le gambe, si aumenta la base di sostenimento, e riesce più difficile alla verticale di sortire da questa base, per cui la persona acquista mag-

giore stabilità. Quando un uomo debba opporsi ad un urto senza pericolo d'essere disteso a terra, deve allargare le sue gambe nella direzione dell'urto medesimo. Imperciocchè, per quanto siano grandi le oscillazioni della verticale condotta pel centro di gravità, difficilmente potrà cadere fuori della base così ingrandita. I lottatori e coloro che tirano di scherma mettono in pratica un tal principio per non essere rovesciati dall'avversario, piegando anche il corpo verso la parte per dove devono ricevere l'urto.

L'uomo che ascende o discende da un piano inclinato e dalla china d'un monte o di un colle, piega in avanti o indietro il suo corpo per portare la verticale condotta pel suo centro di gravità entro la basse di sostenimento, altrimenti cadrebbe come cade qualunque altro corpo posto sopra piani inclinati (§. 300).

310. L'andatura dell'uomo, per poco che si consideri, si trova non essere in fondo che *una continua caduta del centro di gravità del suo corpo continuamente riparata.* Infatti nel camminare l'uomo, incominciando dalla posizione rappresentata nella figura 48, I° muove il piede sinistro e lo alza, e non potendo in tale posizione stare in equilibrio, in causa che la verticale guidata per quel centro non passa per verun punto di sostenimento dell'altro piede. fa il II° movimento gettandosi col corpo a destra per portare la verticale stessa sul piede appoggiato a terra. III° Postosi per tal modo in equilibrio, inclina egli il corpo avanti e porta la verticale fuori della base del piede destro, su cui un istante prima l'aveva condotta. Il centro di gravità cade in avanti, ed una tal caduta è riparata collo spingere innanzi il piede sinistro. IV° In questa nuova posizione d'equilibrio, l'uomo fa un quarto movimento innalzando il piede destro. Ma con questo egli cadrebbe, se non gli succedesse tosto il V°, nel quale l'uomo fa avanzare il suo corpo e conduce la verticale sul piede sinistro, che è l'unico posto a terra. VI° Finalmente col piede destro ripara una nuova caduta del centro di gravità, nell'atto che porta la verticale in avanti, a cadere oltre il piede appoggiato sul terreno, e ripete, continuando il cammino, i movimenti già eseguiti. L'uomo, che tira orizzontalmente, impiega la caduta del centro di gravità, per dove passa la risultante dei pesi del suo corpo, ad esercitare la forza di trazione, la quale dipende perciò quasi interamente dalla massa del proprio corpo, piuttosto che dalla sua forza muscolare (§. 196).

Analizzando l'andatura dei diversi animali tanto di due come di un numero maggiore di piedi, si trovano in essa altrettante applica-

zioni consimili della dottrina del centro di gravità. Osserviamo altresì che, nei movimenti dell'andatura dell'uomo, vi hanno delle oscillazioni alternativamente a destra ed a sinistra. Si comprende quindi come due persone, che nel camminare si diano il braccio, verrebbero ora ad urtarsi ed ora a stirarsi, se non alzassero i piedi in modo che le oscillazioni dei movimenti, della loro andatura, fossero fatte contemporaneamente dalla stessa parte. Allo scopo di conseguire, sin dal principio del cammino, una tale regolarità di movimento, le persone, che camminano congiunte, ed i soldati che si muovono riuniti in compagnie e battaglioni, incominciano l'andatura col medesimo piede, che generalmente è quello sinistro. *Le evoluzioni militari dunque si attengono alla dottrina del centro di gravità.*

311. L'uomo, avendo una base assai ristretta nei suoi due piedi, acquista con lentezza l'abilità di reggersi sui medesimi: il fanciullo infatti il più sviluppato cammina a stento all'età d'un anno, mentre i quadrupedi, avendo relativamente all'altezza del loro centro di gravità una base di sostenimento assai ampia, camminano quasi tutti facilmente poco dopo la loro nascita.

Se è difficile di camminare sopra i due piedi lo è ancor più sopra le gambe di legno, le cui estremità arrotondate presentano pochi punti d'appoggio. L'esercizio però continuato fa vincere queste difficoltà, e noi vediamo soldati mutilati correre le contrade delle città e sorreggersi sicuri sopra gambe di legno. Ancor più difficile è il camminare sui trampoli; ma alcuni si sono così esercitati che lo fanno con sicurezza eguale come se si reggessero sui piedi. I diversi atteggiamenti e movimenti fatti da coloro, che sdrucciolano sul ghiaccio, richieggono pure, in chi li eseguisce, un grande esercizio per conservare al centro di gravità il necessario punto d'appoggio.

312. La danza offra molti esempi della destrezza acquistata dall'uomo nel disporre con un indefinito numero di atteggiamenti il centro di gravità sempre in equilibrio. In tutti questi movimenti il centro di gravità cambia di posizione pei cambiamenti e per le rimozioni differenti, che vengono date alle diverse parti del corpo. Questi movimenti devono essere brevi e fatti con destrezza, affinchè non apparisca veruno sforzo in chi li eseguisce e mostri facilità e grazia nella danza. Se il ballerino si regge sopra un sol piede e leva l'altro all'indietro, stende per l'equilibrio il corpo in avanti; se protende avanti il braccio destro, porta per l'equilibrio il sinistro all'indietro. Tale è la posizione della statua trasvolante di Mercurio,

nella quale la verticale CB, guidata pel centro di gravità C, cade sulla punta del piede che appoggia sul suolo (fig. 49).

Si scorge quindi come gli scultori, i pittori e tutti quelli, che si dedicano alle arti del disegno di figura, debbono conoscere la dottrina del centro di gravità per fare che le statue e le figure non abbiano delle *posizioni false*, vale a dire degli atteggiamenti in cui i veri personaggi non potrebbero sostenersi; difetto che toglie ogni grazia e bellezza alle composizioni delle arti imitative.

313. L'opposizione dei movimenti di alcune parti del corpo a quelli di altre, per conservare l'equilibrio del centro di gravità sui punti di sostenimento, è indispensabile ai funamboli ed ai volteggiatori sui cavalli.

In parecchi altri casi l'uomo fa uso delle rimozioni di alcune parti del suo corpo per facilitarne i movimenti a tenersi in equilibrio. Si osservano sovente degli uomini che, nel camminare celeramente, gettano le braccia ora da un lato ora dall'opposto per bilanciare le diverse posizioni dell'andatura (§. 310); e ve ne sono di quelli che non danno alle braccia il movimento conveniente. Ecco la ragione per cui si danno delle persone che camminano bene ed altre male. Parimenti un uomo seduto, nel mettersi in piedi, prende colle sue membra delle posizioni proprie ad equilibrare il centro di gravità. Lo stesso avviene per chi è in piedi si pieghi per distendere le braccia verso terra a raccogliere qualche oggetto, che si trovi sul suolo. Quando qualche ostacolo impedisca alla persona d'equilibrarsi colla rimozione di alcune parti del suo corpo, le riesce impossibile di compiere certi movimenti. Egli è per ciò che un uomo, che sta ritto in piedi col dorso e i talloni appoggiati ad un muro verticale, non può inclinarsi per raccogliere un oggetto posto sul suolo.

314. Quando l'uomo è carico, egli deve per l'equilibrio condurre la risultante, che passa pel centro di gravità del proprio corpo e del peso portato riuniti assieme, a cadere sulla base dei piedi. L'uomo che porta con un braccio un secchio pieno d'acqua piega il corpo dalla parte opposta per condurre sulla base dei piedi la verticale CG condotta pel centro di gravità C dei due pesi applicati in A, B (fig. 50). Lo stesso è della donna che porta un fanciullo in un braccio, dove la verticale CG passa pel centro di gravità dell'insieme di quello della donna e dell'altro del fanciullo (fig. 51).

La posizione, che è obbligato a prendere l'individuo così caricato, diverrebbe molesta se dovesse essere continuata per qualche tempo; ed appunto per ciò l'uomo si affaticherebbe meno, nel proseguire un

lungo cammino, dividendo l'acqua in due secchi eguali e portandoli con una traversa accoppiati, non essendo necessario di camminare in questo caso inclinato col corpo da un lato (fig. 52). Lo stesso è della donna che porta due fanciulli, l'uno nel sinistro e l'altro nel destro braccio (fig. 53).

315. Quando il carico è portato sul dorso, l'uomo deve piegarsi in avanti per mettersi in equilibrio. Se un pittore rappresentasse ritto un uomo carico sul dorso d'un peso considerabile e voluminoso, egli dipingerebbe la figura in *posizione falsa*, perchè la verticale CD condotta pel centro di gravità C dei due pesi applicati in A, B, non sarebbe sostenuta dalla base dei piedi (fig. 54). Rappresentando invece la figura dell'uomo con porzione del corpo inclinato, conduce la stessa verticale CG sulla base di sostenimento e nella giusta posizione per non cadere (fig. 55).

Quanto più il carico, che l'uomo porta, è voluminoso e sporge all'infuori del dorso, tanto più deve inclinarsi in avanti per conservarsi in equilibrio. Egli è per ciò che la valigia del soldato, che deve fare lunghe marcie con questo carico, deve allargarsi piuttosto parallelamente al lato con cui appoggia sul dorso, che da quello che riesce normale al dorso stesso (fig. 56). Non è dunque indifferente la forma che riesce più conveniente alla valigia del soldato, per non affaticarsi inutilmente nelle lunghe marcie, continuate per alcuni giorni. Lo stesso si dica della gerla, colla quale l'uomo trasporta dei pesi sul dorso, come pure della bigoncia per trasportare nell'eguale maniera dei liquidi. Quanto più la gerla e la bigoncia saranno larghe e piatte, tanto meno faticose riusciranno nel portarle cariche di qualche peso.

316. Allorquando una persona porta un peso avanti di sè colle braccia o congiunto col suo corpo in qualunque siasi maniera, è obbligato a prendere un'attitudine contraria a quella dei precedenti casi, nei quali il carico è applicato sul dorso, e deve quindi inclinarsi all'indietro col corpo per condurre la verticale sulla base di sostenimento, se non vuole trovarsi in posizione di cadere, come nella donna rappresentata nella fig. 57, che porta il vasojo ad armscollo carico di focaccie. Infatti la verticale *n*N condotta pel centro di gravità dell'insieme dei due pesi riuniti, cioè *q* del carico e *p* del peso del corpo della persona, cade fuori della base dei piedi, e quindi la persona non può sostenersi in equilibrio, come si sostiene nell'altra posizione (fig. 58), dove inclinandosi all'indietro col corpo conduce la stessa verticale *mn* sui punti di sostenimento dei piedi. Ed è

appunto per l'egual ragione che le persone, dotate di grosso ventre, trovano il bisogno di dover portare alta la testa ed indietro gli omeri e le braccia, onde condurre la verticale CA sulla base dei piedi (fig. 59). Alcuni, ignari della dottrina del centro di gravità, attribuiscono un tal portamento ad un fare altiero; e più d'una volta abbiamo sentito pronunciare un tal giudizio sopra individui della miglior pasta del mondo. Quando si porta un peso colle braccia, si ottiene l'equilibrio rimovendo indietro qualche altra parte del corpo, e tenendo avanti sempre uno dei piedi per allargare la base di sostenimento. Se la donna, carica nel modo rappresentato nella fig. 60, ritira il piede, essa cadrà per la ragione che la verticale CD non passa pei punti sostenuti. Per camminare carico di qualche peso senza dover sostenere col corpo una posizione faticosa, importa di distribuire il carico in modo che il centro di gravità di questo si trovi sulla stessa verticale, che passa pel centro di gravità del corpo della persona, come si è notato precedentemente (§. 314). Questo principio è applicato appunto dall'accattone colla bisaccia (fig. 61), e da alcune villanelle che portano dei pesi, anche considerabili, sulla testa (fig. 62).

317. In alcuni casi l'uomo si munisce d'un grave, che facilmente può rimuovere a destra ed a sinistra, avanti ed indietro per mantenersi in equilibrio su pochi punti, ai quali si appoggia coi piedi. Il funambolo, munito dell'asta CD (fig. 63), passeggia sulla corda tesa AB con maggiore franchezza di quando non è munito di quel contrappeso, perchè con ciò può far variare a piacimento la posizione del centro di gravità per condurlo nella verticale che passa per la fune, rimovendo l'asta stessa in un verso o nell'altro.

318. Quando si vuol dare maggiore stabilità ad un corpo, che si appoggia soltanto a qualche punto, è necessario contrappesarlo in modo da portare al disotto di quel punto il centro di gravità del loro insieme. Nelle scuole si mostra questa verità coll'apparato detto *ballerino fantoccio* (fig. 64). Esso consiste in un fantoccio formato di pezzoline e pannolini con ossatura di fili di ferro connessa ad una palla di ottone C, per la quale riposa sulla punta piantata alla sommità d'una colonnetta. Il centro di gravità del fantoccio è in D e quello della palla nel suo centro di figura (§ 291); per cui il centro di gravità dell'insieme dei due corpi cadrà fra i due punti C, D. Trovandosi quindi il centro di gravità del sistema dei due corpi al disopra dell'unico punto d'appoggio, vi sarà una sola posizione di equilibrio, quella cioè in cui la verticale, condotta per la parte acu-

minata, passi pei punti C, D. Questo equilibrio è assai instabile e difficile, trattandosi di mettere in bilico verticalmente sopra un sol punto una retta d'una certa lunghezza. Ora la palla C si unisca con fili metallici ad altre due palle eguali A, B disposte molto al disotto del punto d'appoggio: in questo caso il centro di gravità del sistema, composto dei quattro corpi A, B, C, D, risulta più basso di quello dei soli due C, D, e l'equilibrio del fantoccio sulla punta non incontra veruna difficoltà. Il centro di gravità delle due palle A, B cade sulla metà G della retta di congiunzione delle medesime, quello delle tre palle eguali A, B, C ad un terzo in E della retta che unisce G con C (§. 288), e finalmente il centro di gravità dei tre corpi concentrati in E e del fantoccio vien ad essere in F al disotto del punto d'appoggio. Il centro di gravità F, posto al disotto del punto da cui è sostenuto, non potrà cadere più al basso del sito in cui si trova, a meno che da altra forza venisse sollevato dal punto dove riposa; tutto al più il centro di gravità stesso potrà oscillare intorno a questo punto come oscilla l'elissoide.

L'apparato per una scuola deve essere costrutto con fili AC, BC congiunti a mastietatura colla palla C, per cui si possano innalzare le due palle A, B discostandole l'una dall'altra con aumentare l'intervallo AB (fig. 65). Coll'ingrandire l'intervallo AB s'innalza, come è chiaro, il centro di gravità del sistema dei quattro corpi A, B, C, D, e quindi l'equilibrio del fantoccio sulla punta diventa meno stabile; potendosi innalzare in modo il centro E che cada molto vicino alla punta, ed allora un lieve moto può far cadere il fantoccio.

319. Si costruiscono fantocci col centro di gravità mobile; talchè, mentre questo cade al basso, quelli discendono da una certa altezza per una gradinata. Di tale specie è l'apparato conosciuto sotto il nome di *ballerino* o *ballerini chinesi*, il quale serve anche nelle scuole alla dimostrazione delle dottrine intorno al centro di gravità. Consiste esso in due figurine A, B (fig. 66) formate di materia poco pesante e congiunte fra loro per mezzo di due tubi *mn*, *pq* attaccati alle braccia rispettive delle medesime. I tubi contengono del mercurio e sono chiusi esattamente alle due estremità. Disposta la figurina A sopra un gradino della scalinata EF, il mercurio scorre verso le inferiori estremità *n*, *q* dei tubi, ed il centro di gravità di tutto il sistema, delle due figurine e dei due tubi col mercurio, si porta per tal modo nell'intervallo compreso tra la figurina A e le estremità *n*, *q*. Un tal centro non è quindi sostenuto dal fantoccio A, che è l'unica parte del sistema appoggiata sopra parti fisse; esso cade al basso e

nel cadere fa rivolgere i tubi intorno alla snodatura delle braccia di A. In tale rivolgimento s'innalza B, tenendosi però sempre verticale per avere il suo centro di gravità q al disotto della retta od asse di rotazione che passa per le sue braccia. Giunti i tubi nello stesso piano verticale del ballerino A, riesce pure verticale al disopra di esso l'altro B, e in tale posizione il sistema starebbe in equilibrio. Ma siccome il centro di gravità nel cadere imprime alle parti del sistema una certa velocità capace a farlo salire ad un'altezza eguale a quella da cui è disceso (§. 248); così esso s'innalza dalla parte opposta facendo rivolgere i tubi intorno all'asse delle braccia di A. In questo movimento la figurina B discende, continuando a percorrere la circonferenza che ha incominciato a descrivere nella salita, e viene ad appoggiarsi coi suoi piedi sul gradino seguente più basso mettendosi nella posizione indicata dalla figura punteggiata. In questa nuova posizione i tubi hanno ancora l'eguai inclinazione all'orizzonte, ma nella rivoluzione del sistema vennero capovolti, avendo preso l'estremità più elevata il sito più basso e viceversa. Il mercurio nei tubi cadrà verso le estremità opposte, come più basse. Per conseguenza, stando B sul gradino, si ripetono per A i medesimi movimenti concepiti precedentemente da B, nei quali A viene trasportato sul gradino seguente ancor più basso. In questa terza posizione, la figurina A fa di nuovo di punto di sostenimento e seguitano i movimenti di rivoluzione come prima, sino a che i ballerini sono giunti al termine della gradinata. Le diverse posizioni, che prendono i tubi nel rivolgimento, sono notate con linee punteggiate, dove si vedono indicate con verticali le diverse situazioni del centro di gravità della figurina in movimento.

L'apparato si costruisce eziandio con una sola figurina, la quale è cava e contiene del mercurio, con cui è reso mobile il centro di gravità. Questo liquido si raduna ora nella testa ed ora nella parte deretana del corpo, secondo che sono le braccia o i piedi che formano punto d'appoggio al sistema. Nel ballerino chinese la costruzione riesce un poco complicata con rotelle e fili, che servono a disporre alternativamente le mani ed i piedi come punti d'appoggio ai movimenti del piccolo apparato.

320. Per muovere un corpo o per arrestarlo o modificarne il moto, bisogna mettere in movimento, elidere o modificare il moto del suo centro di gravità (§. 283). All'appoggio d'un tal principio si riconoscerà facilmente in qual modo si moverà un corpo sollecitato da una o più forze, e si riconoscerà eziandio se esso possa concepire

qualche moto di rotazione intorno a quel centro. Si comprenderanno quindi facilmente i diversi casi di produzione o di estinzione di movimento in un corpo.

I. Quando siano contemporaneamente sollecitate tutte le molecole del corpo da forze proporzionali alla massa delle medesime e dirette nello stesso verso, il corpo stesso si moverà in retta linea senza che si generi moto rotatorio.

II. Se il corpo è animato da una sola forza, che passi pel centro di gravità ed agisca parallelamente ad una data direzione, esso si moverà senza ruotare nella direzione medesima.

III. Allorquando il corpo venga sollecitato da parecchie forze ad angolo o parallele, la cui risultante passi pel centro di gravità; il corpo medesimo si moverà del pari senza concepire veruna rotazione e nella direzione della risultante, la quale nel secondo caso riuscirà parallela alle forze.

IV. Per arrestare con una sola forza un corpo, che progredisce in linea retta, bisogna che la direzione dell'azione della forza sia secondo quella retta e passi pel centro di gravità.

V. Quando siano parecchie forze dirette ad arrestare un corpo, bisogna, per evitare la rotazione, che la loro risultante agisca lungo la linea del movimento del corpo stesso e passi pel centro di gravità.

VI. Quando l'unica forza o la risultante di più forze, dirette a muovere od arrestare un corpo, ha una direzione che non passa pel centro di gravità, il corpo concepirà altresì un moto di rotazione intorno a questo centro.

Coi principii della composizione e decomposizione delle forze parallele è facile dimostrare che in quest'ultimo caso il corpo si moverà in linea retta e la rotazione non altererà questo moto. In ciò consiste il *principio della conservazione del movimento del centro di gravità*, di grand'importanza nella meccanica razionale. Esso si attiene principalmente a quest'altra proprietà, cioè che *tutti i movimenti interni, prodotti in un corpo dalle azioni e dalle reazioni delle diverse sue parti, non cambiano il movimento del centro di gravità in riguardo ai punti esteriori dello spazio*. Nel giuoco del bigliardo e nella balistica si hanno degli esempi, in cui si verifica il principio suesposto.

Una persona, che salta da una carrozza in movimento, è animata da più forze impresse: cioè da quella orizzontale che ha comune col veicolo da cui si è staccata; dalla velocità verticale impressale dalla gravità; e dalla forza con cui ha spiccato il salto. Per evitare un

movimento pericoloso, al momento che la persona mette i piedi a terra, bisogna aver riguardo alla risultante di quelle forze ed al centro di gravità della persona.

321. Per trovare la risultante di più forze, come pure per determinare il centro di gravità dei corpi serve la dottrina dei *momenti*. Si dice *momento di rotazione* d'una forza, rispetto ad un punto o ad una retta, il prodotto della forza medesima per la normale condotta sulla direzione della forza da quel punto o da uno di quella retta preso opportunamente. Esso si chiama così in quanto che le forze tendono a produrre nel sistema un moto di rotazione intorno a quel punto o a quella linea. Non bisogna confondere il momento di rotazione coi momenti altrove considerati (§. 189). D'altronde si ha il *momento della massa*, che eguaglia il prodotto di questa per la velocità che concepisce o può concepire il corpo, ed esprime la forza al medesimo impressa (§. 224). Questo vocabolo, nella mecanica razionale, prende altri significati, e vi ha il *momento numerico*, il *momento d'inerzia*, ecc.

Si abbiano le due forze parallele F, *f* (fig. 67), applicate ai punti B, C della retta BAC ed aventi per risultante la forza R applicata in A sulla stessa BC. Per la dottrina delle forze parallele (§. 275) si avrà F : *f* : : AC : : AB. Si conduca ora per A la retta *b*Ac perpendicolare alla direzione delle due forze F, *f*, e si avrà pei triangoli simili AB*b*, AC*c*, che ne risultano, la proporzione AC : AB : : Ac : A*b*, e per conseguenza starà F : *f* : : Ac : A*b*, da cui si deduce F. A*b*=*f*. Ac. Il punto A si può considerare come un oggetto resistente alla risultante R, per cui le due forze F, *f*, che tendono a far ruotare in opposto verso la retta BC, si faranno intorno ad esso equilibrio; e per questo equilibrio è necessario che sia F. A*b*=*f*. Ac. Il prodotto F. A*b* è il momento di rotazione della forza F, e l'altro *f*. Ac è quello della forza *f*. Le condizioni d'equilibrio dunque delle due forze F, *f*, che tendono ad imprimere un moto di rotazione nella retta od asse BC, si esprimono così: *affinchè due forze parallele si facciano equilibrio intorno ad un punto resistente, è necessario che i momenti delle due forze stesse siano eguali.*

L'equilibrio sussiste quando, tenendo costante F ed A*b*, si raddoppii la distanza Ac riducendo però alla metà la forza *f*. Parimenti si può supporre che sia triplicata, quadruplicata, quintuplicata, ecc. la distanza Ac senza essere rotto l'equilibrio, purchè la forza *f* venga ridotta alla terza, quarta, quinta, ecc. parte. Da ciò si vede che l'azione istantanea d'una forza rimane sempre la medesima, quan-

tunque questa venga diminuita, ingrandendo però proporzionalmente la sua distanza dal punto di rotazione.

Si potrebbe collocare il punto resistente all'estremità A (fig. 68) della retta ABC, e far agire le due forze parallele F, *f* in contraria direzione. Allora si avrebbe F : *f* : : AC : AB : ossia, condotta per A la retta A*b*c perpendicolare alla direzione delle due forze, si avrà F : *f* : : Ac : A*b*, da cui si ricava F. A*b*=*f*. Ac : vale a dire che, per l'equilibrio, i momenti sono ancora eguali.

322. Abbiano le due forze F, *f* (fig. 69), applicate alla retta BAC, una direzione qualunque sul medesimo piano, e sia il punto A, per dove passa la loro risultante, un oggetto resistente intorno al quale si equilibrano le due forze. Si risolva la forza F, rappresentata da B*p*, in due, l'una F' perpendicolare alla retta BAC, e l'altra B*m* nella direzione della retta medesima (§. 264). Parimenti si risolva la *f* nelle due *f'* e C*n*, la prima perpendicolare e la seconda sulla direzione della retta BAc. Si avranno così per l'equilibrio le quattro forze F', *f'*, B*m*, C*n*, di cui le due ultime non imprimeranno intorno al punto A verun moto di rotazione, e tenderebbero soltanto a fare sdrucciolare la linea BC sul medesimo, se essa non fosse ivi stabilmente applicata. Le due forze F', *f'* si faranno dunque equilibrio in riguardo alla rotazione della retta BAC. Si avrà quindi F'. AB=*f*. AC. Ora pei triangoli simili B*pm*, AB*b* si ha F : F' : : AB : A*b*, da cui si ottiene F'. AB=F. A*b*; e pei due triangoli simili C*qn*, AC*c* risulta egualmente la proporzione *f* : *f'* : : AC : Ac, da cui si ha *f'*. AC=*f*. Ac. Sostituendo pertanto, nella prima equazione F'. AB=*f'*. AC, i valori equivalenti, risulta F. A*b*=*f*. Ac; vale a dire che *nel caso d'equilibrio di due forze ad angolo tendenti a far ruotare in opposta direzione intorno ad un punto resistente una retta, il momento di una di esse forze eguaglia pure quello dell'altra.* Si dimostra in modo consimile che le stesse condizioni d'equilibrio valgono anche nel caso che il punto resistente sia posto ad un'estremità della retta e le due forze agiscano l'una in un verso e l'altra nel verso opposto.

Si dinoti con x l'angolo *p*BC, e con y l'angolo *q*CB che ciascuna delle due forze F, *f* fa colla retta BC; i quali angoli sono supplementi dei due *p*B*m*, *q*C*n*, eguali rispettivamente ad AB*b*, AC*c*. Dal triangolo rettangolo A*b*B, si ha AB : A*b* : : 1 : *sen.* x, e dall'altro A*c*C, AC : Ac : : 1 : *sen.* y. Da queste proporzioni si ricava A*b*=AB. *sen.* x, ed Ac=AC. *sen.* y. Sostituendo questi valori nell'equazione superiore dei momenti risulta: F. AB. *sen.* x=*f*. AC. *sen.* y.

Dove, se le due forze sono parallele, è $sen.x = sen.y$, e quindi $F.AB = f.AC$.

323. Supponiamo che le due rette bA, cA, congiunte invariabilmente al punto A, girino intorno ad esso, dove si equilibrano le due forze F, f applicate alle estremità b, c delle rette medesime. Questi due punti estremi descriveranno, nell'egual unità di tempo, degli spazii, i quali rappresentano le *velocità virtuali* ossia le velocità nel caso che il sistema e quindi i due punti dovessero passare dall'equilibrio al moto. Siccome gli spazii descritti da quei punti sono rappresentati da archi circolari, che hanno per raggi rispettivamente quelle rette e quindi sono ad esse proporzionali; così si avrà eziandio che, *per l'equilibrio, i prodotti di ciascuna forza per le rispettive velocità* virtuali, *sono fra loro eguali*. In questo consiste il famoso canone scientifico conosciuto sotto il nome di *principio delle velocità virtuali*, il quale è molto fecondo nelle applicazioni alle machine ed a tutte le combinazioni di forze.

Si è detto altrove (§. 182) che la velocità consiste nello spazio descritto in un'unità stabilita di tempo: è dessa la *velocità attuale, reale, effettiva*, a differenza di quella che prenderebbe un corpo nel passare dall'equilibrio al moto, e che chiamasi velocità *virtuale*. Questa specie di velocità dunque non è reale, ma ha nascimento soltanto quando l'equilibrio è un poco disturbato dalla sua posizione senza che cambino i rapporti delle forze e dei loro momenti.

324. Abbiamo altrove fatto conoscere le leggi del moto libero dei gravi (§. 246 e seguenti), ora dobbiamo considerare la discesa dei gravi lungo piani inclinati, i quali impediscono il moto verticale. Chiamasi *piano inclinato* qualunque piano che faccia angolo non retto coll'orizzonte. Se uno di tali piani s'imagini tagliato pel lungo da un altro piano verticale, ne risulta la sezione AC (fig. 70) la quale, congiunta per le sue estremità coll'orizzontale CB e colla verticale AB, forma il triangolo ABC rettangolo in B. In questo triangolo l'ipotenusa AC rappresenta la *lunghezza* del piano inclinato, AB l'*altezza* del medesimo e BC la *base*. L'angolo poi ACB coll'orizzonte chiamasi *angolo d'inclinazione del piano*.

325. È facile di dimostrare che la forza, per cui i corpi discendono lungo i piani inclinati, è una porzione della gravità. S'imagini un corpo sul piano inclinato AC (fig. 70), dal cui centro di gravità O si conduca la verticale OG, che rappresenti la gravità assoluta del corpo. Si decomponga questa forza in due, l'una OP perpendicolare e l'altra OR parallela al piano AC (§. 264): è chiaro che la OP sarà

interamente diretta a premere il piano, mentre la OR sarà la sola che tenda a far discendere il corpo lungo il medesimo. La *gravità assoluta* OG è dunque risolta in due forze, la prima delle quali OP chiamasi appunto *forza premente* il piano, e l'altra OR *gravità relativa*.

Dai triangoli simili GPO, ABC si ha, OG : PG : OP : : AC : AB : BC; e chiamando g la gravità assoluta OG, d la gravità relativa PG=OR, p la forza premente OP, come pure L la lunghezza AB del piano inclinato, A l'altezza AB del medesimo e B la base BC, ne risulta $g : d : p : : L : A : B$. Da ciò si apprende che *la gravità assoluta, la relativa e la forza premente sono proporzionali alla lunghezza, all'altezza ed alla base del piano inclinato.* Si avranno altresì le proporzioni parziali $g : d : : L : A$; $g : p : : L : B$, dalle quali si deduce $d=\frac{A}{L}.\ g$, $p=\frac{B}{L}.\ g$. Denominando altresì con α l'angolo C d'inclinazione del piano eguale ad OGR, si ha per la trigonometria $g : d : : 1 : sen.\alpha$, da cui si ricava $d=g.\ sen.\alpha$. Dall'altra proporzione ottenuta in simil modo si ha $p=g\ \cos.\alpha$. Siccome i due valori della gravità relativa sono espressi dai coefficienti costanti $\frac{A}{L}$, e $sen.\alpha$ per lo stesso piano; così si deduce che la gravità relativa è una porzione costante della gravità assoluta g, e quindi è come questa una forza continuata costante (§. 126). Lo stesso è della forza premente p.

326. I gravi discendenti lungo i piani inclinati, essendo sollecitati da una forza continuata costante, seguiranno nei loro moti le stesse leggi dei gravi che cadono liberamente, peressere in ambidue i casi il moto uniformemente accelerato (§. 239), e perciò nel moto pei piani inclinati si verificherà pure che, 1° *le velocità che acquistano i gravi discendendo lungo i piani inclinati sono proporzionali ai tempi impiegati ad acquistarle;* 2° *gli spazii percorsi nei tempi totali stanno come i quadrati de' tempi medesimi;* 3° *gli spazii descritti nei singoli tempi successivi ed eguali sono in ragione dei numeri dispari;* 4° *la velocità acquistata in un dato tempo da un grave che discende lungo un piano inclinato è tale da far percorrere da sola al grave stesso sul medesimo piano e nell'egual tempo uno spazio doppio del descritto.*

Chiamando dunque con V la velocità finale e T il tempo impiegato ad acquistarla, mentre con u si esprime la velocità iniziale, sarà

Digitized by Google

$V=uT$. Siccome poi la velocità iniziale nel moto uniformemente accelerato eguaglia la forza acceleratrice costante (§. 245), la quale forza acceleratrice g, per la gravità assoluta, è nei paesi di media latitudine come Milano di 9,8058 (§. 246); così pei gravi cadenti lungo i piani inclinati la forza acceleratrice essendo $d=g.\ sen.\alpha=\frac{A}{L}.g$, sarà $d=sen.\alpha.\ 9{,}8058$ oppure $d=\frac{A}{L}.\ 9{,}8058$, nei quali valori l'unità di tempo è il minuto secondo. Se poi il grave, al principio della caduta lungo il piano, è dotato della celerità C, quella finale risulterà $W=C+uT$; ossia $W=C+g\ T.\ sen.\alpha$. In generale tutte le formole, per la caduta libera dei gravi, valgono anche per quella lungo i piani inclinati sostituendo alla forza acceleratrice g della gravità assoluta, quella $g.\ sen.\alpha$ oppure $g.\frac{A}{L}$ della gravità relativa.

327. La legge fondamentale del moto dei gravi, che consiste nell'essere *gli spazi in ragione dei quadrati dei tempi*, si dimostra anche coll'apparato detto *piano inclinato di Galilei* altrove rammentato (§. 250). L'apparato, che oggidì si usa nelle scuole, è formato d'un filo d'ottone AB (fig. 71) tenuto ben teso da viti fra le estremità ripiegate a squadra d'una robusta verga d'acciaio o di ferro. Questa verga è applicata con una mastietatura sopra il sostegno C infisso solidamente sulla colonnetta P. La verga, rivolgendosi sulla mastietatura, può essere inclinata all'orizzonte sotto differenti angoli unitamente al filo AB ad essa parallelo; l'inclinazione è misurata dal quadrante di cerchio graduato EG, il quale viene fissato in una determinata posizione mediante la vite di pressione collegata colla colonnetta. Il grave cadente è un pezzo prismatico D d'ottone, che pende al disotto del filo AB appoggiandosi su due rotelle facilmente girevoli; talchè, trovandosi il filo inclinato all'orizzonte e il grave D disposto verso l'estremità più elevata, il grave stesso cade lungo il filo senza provare resistenza sensibile.

Per esperimentare con questo apparato, si dispone un pendolo, che batte un'unità di tempo, per esempio, il mezzo secondo od un' unità ancor più breve, ed il filo s'inclina in modo che il grave percorra una parte di questo spazio nell'unità di tempo. Determinato con un'esperienza preliminare lo spazio descritto nella prima unità di tempo, si porta il fermaglio F ad una distanza, dalla sommità del piano inclinato, quadrupla dello spazio in tal modo determinato, e

si assicura in tale posizione colla vite di pressione, di cui è munito. Fatto ciò, si dispone il grave D nella parte più elevata e lasciandolo cadere si trova che viene a percuotere il fermaglio F nella seconda battuta del pendolo. Ritirando poscia il fermaglio F alla distanza nove volte quella descritta nell'unità di tempo, il corpo D la percorre in tre tempi. In tal modo si vede che il grave D nel cadere lungo il piano inclinato percorre degli spazi che sono in ragione dei quadrati dei tempi.

Il filo dell'apparato di Galilei, che si costruisce per le sperienze nelle scuole, ha la lunghezza di circa due metri; talchè per far servire questa lunghezza a tre o quattro tempi bisogna inclinare il filo sotto un piccolo angolo. Se s'inclinasse sotto l'angolo di 16°, esso non servirebbe prendendo per unità il minuto secondo; giacchè, essendo la gravità relativa $d=g.$ sen,α. per quell'angolo risulterebbe $d=2,^{m}70$, e per conseguenza lo spazio descritto nel primo minuto secondo sarebbe di metri 1,35. Per l'angolo di 2° risulta $d=0^{m},44$, e quindi lo spazio descritto nel primo minuto secondo di 22 centimetri. Egli è perciò che si disse di prendere un pendolo che batta dei tempi più piccoli del secondo.

328. Per esperimentare la legge fondamentale della caduta dei gravi, si può costruire il piano inclinato in modo che misuri il tempo della caduta, e così non avere bisogno del pendolo. Questo piano è formato d'un lungo prisma di legno AB (fig. 72), nel quale sono fatte due scanalature triangolari, dove possono scorrere palle d'acciaio o d'ottone. Il prisma è congiunto in C a mastietatura con un sostegno P. Ad una data distanza dalla sommità A, avvi disposto l'asse E che è mobile sopra due appoggi, e porta due appendici, che corrispondono rispettivamente colle scanalature. Sull' orlo d' una scanalatura avvi assicurato un campanello F distante da E dell'intervallo EF eguale ad AE. Corrispondente a questo campanello vi ha un martelletto girevole sopra un perno e munito d'un'appendice, la quale s'interna nella cavità della scanalatura. La palla, trascorrendo il piano, passa per un tal punto, urta l'appendice e fa battere il martelletto contro il campanello. Sull'orlo dell'altra scanalatura è disposto un altro campanello eguale B col rispettivo martelletto, ad una distanza AB dalla sommità A quadrupla di AE.

L'esperimento si istituisce nel modo seguente: le due appendici dell'asse E si rivolgono verso l'interno delle scanalature ed a quella verso E si appoggia una delle palle di metallo; l'altra palla si porta in A, dove è ritenuta da un diaframma movibile. Levando il dia-

Digitized by Google

framma la palla percorre in una certa unità di tempo lo spazio AE, dove appena giunta viene a rialzare l'appendice dell'asse E; talchè, al momento che la palla partita da A passa per E, viene posta in libertà nell'altro canale la palla ritenuta in riposo dalla corrispondente appendice. Questa seconda palla si muove nel primo tempo e percorre lo spazio EF eguale a quello descritto in un primo tempo dall'altra partita da A. La legge degli spazi in ragione dei quadrati dei tempi, sarà vera se la stessa prima palla, nell'andare da E in B, impiega un altro tempo eguale al primo, ossia se i martelletti urtati rispettivamente dalle due palle vengono a produrre sui campanelli due suoni contemporanei. Imperocchè il grave, che ha preso le mosse da A, percorre in un sol tempo lo spazio AE, e in due tempi avrà percorso lo spazio AB quadruplo del primo.

329. Si è veduto che la gravità sul piano inclinato in parte è diretta a premere il piano stesso, ed in parte a far discendere il corpo (§. 328). La prima porzione di gravità si è trovata $p=\frac{B}{L}.g$, e la seconda $d=\frac{A}{L}.g$. La neve dunque che cade e si accumula sui tetti non preme i travi inclinati con l'intero suo peso g, ma con un peso espresso da $\frac{B}{L}.g$. Talchè, se la base B del piano inclinato sia $\frac{1}{3}$ della lunghezza L, riuscirà la pressione p soltanto di $\frac{1}{3}.g$. Nei paesi settentrionali, dove la prima neve caduta non si liquefà e può essere accumulata con quella che cade successivamente nell'inverno, si fanno i tetti molto inclinati ossia si dà al piano inclinato una grande altezza, per avere così minore pressione sul tetto, e per accrescere altresì la gravità relativa $d=\frac{A}{L}.g$ in modo da obligare la neve ad ogni caduta di sdrucciolare sul piano e cadere sul suolo sottoposto.

Il cavallo, che tira il carretto sopra una strada in acclività; deve vincere, oltre le resistenze e l'inerzia, porzione del peso di tutto il traino e sollevarla ad una certa altezza. Per questa parte la forza, esercitata dal cavallo, eguaglia la gravità relativa espressa da $\frac{A}{L}.g$: se quindi l'acclività della strada è del 10 per 100, come sono alcune di montagna, ossia se essa forma un piano inclinato dell'al-

Digitized by Google

tezza 1 e della lunghezza di 10, l'animale dovrà fare di più uno sforzo eguale ad $^1/_{10}$ del peso del carico. Essendo questo di 1000 chilogrammi, lo sforzo di più da impiegarsi dal cavallo riuscirà di 100 chilogrammi. Ecco la ragione per cui il momento dinamico degli animali, che tirano dei pesi per un cammino acclive, riesce minore di quello per via piana (§. 215). Egli è lo stesso nell'ascendere senza alcun carico, giacchè l'animale deve in tal caso sollevare porzione del peso del suo corpo; ed è per tal ragione che l'uomo, tanto che cammini caricato quanto, a vuoto, ha sempre minor momento dinamico per via acclive che per quella orizzontale (§. 205).

Da quanto si è esposto si comprende il vantaggio che in parte si ritrae sviluppando le strade, condotte a traverso i monti, per lunghe linee per rendere minore l'acclività, aumentando la lunghezza dei piani inclinati senza accrescerne l'altezza.

Per impedire il moto troppo precipitoso, prodotto dalla maggior gravità relativa per un cammino molto declive, bisogna impiegare uno sforzo eguale ad $\frac{A}{L} \cdot g$, che è il valore di quella forza e che aumenta con l'altezza da cui si discende. La discesa per una strada ferrata, inclinata anche d'un piccolo angolo, risulta tanto più pericolosa per la ragione che l'attrito, che estingue ad ogni istante porzione della forza acceleratrice, è molto tenue. Il corpo scorre verso il basso con una velocità che si accresce in ragione dei tempi (§ 326).

330. Il moto lungo i piani inclinati ha alcuni rapporti definiti con quello verticale dei gravi.—È facile dimostrare che *le velocità acquistate da un grave nello stesso tempo per la caduta libera e per un piano inclinato, stanno come la lunghezza all'altezza del piano.* Infatti nella caduta libera è $V = gT$ (§. 244) e in quella lungo i piani inclinati $u = gT.\frac{A}{L}$ (§. 326), da cui si deduce: $V : u :: L : A$.

331. Si prova del pari che *gli spazi, percorsi dal grave per caduta libera e pel piano inclinato nello stesso tempo, stanno come la lunghezza e l'altezza.* Per la caduta libera è $S = g\frac{T^2}{2}$ (§. 244), per piano inclinato $s = g\frac{T^2}{2}\frac{A}{L}$ (§. 326); perciò si avrà $S : s :: L : A$.

332. Un grave, che percorra per caduta libera l'altezza d'un piano inclinato o una porzione di essa, giunge nello stesso tempo, cadendo pel piano stesso, in un sito determinato dalla perpendicolare

abbassata sulla lunghezza dal punto dell'altezza, dove giunge nel moto verticale. Si dimostra colla proporzione che danno i triangoli rettangoli simili, che ne risultano.

Da ciò si ha che un grave percorre il diametro verticale BC d'un circolo(fig. 73) nello stesso tempo che descrive qualunque sua corda BD, *b*C. Infatti si conduca dall'estremo C del diametro la retta orizzontale CA e si prolunghi la corda BD sino ad incontrare nel punto A l'orizzontale stessa: risulta il piano inclinato BA, la cui altezza è BC. Congiungendo ora il punto C con D, l'angolo BDC, fatto nel semicircolo, è retto e la linea CD riesce perpendicolare al piano BA. Quindi, per ciò che si è detto precedentemente, l'altezza o il diametro verticale BC sarà per caduta libera percorso nello stesso tempo della corda porzione del piano BD, o dell'altra corda *b*C eguale e parallela e quindi egualmente inclinata all'orizzonte.

Questa verità si dimostra anche sperimentalmente coll'apparato formato da un cerchio di legno sostenuto verticalmente dalla colonnetta AB (fig. 74) e da un regolo scanalato EF, che può girare intorno ad un perno E applicato all'estremità inferiore del diametro verticale AE e che prende la posizione d'una qualunque sottesa del cerchio medesimo. Alla sommità del diametro è applicato un anello A col fondo mobile, e sul regolo un ritegno elastico F. Un cordoncino è attaccato per le sue estremità al ritegno e ad una molla, che sostiene il fondo mobile dell'anello A. Tirando colla mano il cordoncino, si lasciano libere due palle d'eguale grossezza sostenute dal ritegno e dal fondo dell'anello. La prima discende liberamente pel diametro verticale e la seconda per la sottesa FE del cerchio, ed ambedue le palle cadono contemporaneamente sul fondo della cassettina disposta in E.

333. *La velocità acquistata dai gravi nel percorrere un piano inclinato eguaglia quella che acquistano cadendo liberamente per l'altezza.* Infatti detta x la velocità finale per la caduta dell'altezza, ed y quella pel piano inclinato corrispondente, si ha l'altezza $A=\frac{x^2}{2g}$ (§. 244) e lo spazio del piano inclinato $L=\frac{y^2}{2g}\frac{L}{A}$; dalle quali equazioni si ricava $x=\sqrt{2gA}$ ed $y=\sqrt{2gA}$, e quindi $x=y$.

La velocità finale d'un grave, nel discendere pei piani inclinati, dipende dunque dalla loro altezza, e se questa è in tutti eguale, il grave perverrà al termine di ciascun piano, di qualunque lunghezza esso sia, sempre colla medesima velocità debita all'altezza. Questa velocità sarà estinta dalla stessa gravità relativa agente in

contrario verso per l'eguale tempo; talchè se al fine della discesa si presenta un altro piano della stessa altezza, il grave, in virtù dell'acquistata velocità, salirebbe lungo il medesimo sino alla sommità, dove la velocità stessa sarebbe al fine annullata. Nella discesa il moto è uniformemente accelerato, mentre nella salita riesce uniformemente ritardato. Questo principio è conforme a quello altrove stabilito per l'azione libera della gravità (§. 248) e conduce alle medesime conseguenze.

L'acqua nel discendere per gli alvei dei fiumi e pei torrenti percorre dei piani inclinati, i quali hanno per altezza l'elevazione verticale da cui discendono. Se l'acqua non incontrasse ostacoli ed impedimenti in quel suo moto, dovrebbe giungere al mare con una velocità debita all'altezza da cui discende, qualunque fosse la lunghezza del canale per dove scorre. I taglialegna delle alpi fanno discendere per piani inclinati i tronchi d'alberi tagliati alla sommità. Questi tronchi si movono al principio lentamente, ma ben presto accelerano il loro moto e giungono al basso con una velocità spaventevole. Si è notato altrove (§. 247) che appunto da tale velocità dipende l'impeto poderoso delle valanghe.

334. *I tempi, che un grave impiega nel discendere per un piano inclinato e nel cadere liberamente per l'altezza di esso, stanno come la lunghezza all'altezza del piano medesimo.* Infatti nella caduta libera è $V=gT$ (§. 244), e nella discesa pel piano inclinato, acquistando il grave la stessa velocità (§. 333), si avrà eziandio

$V=gt\frac{A}{L}$ (§. 326). Sarà quindi $gT=gt\frac{A}{L}$ e quindi $t : T :: L : A$.

335. In una serie di piani inclinati, disposti l'uno in seguito all'altro e congiunti per le loro lunghezze, la velocità acquistata dal grave nel discendere successivamente per essi sarà eguale alla somma delle velocità che acquista per ciascun piano e quindi alle velocità che acquista cadendo per l'altezza totale dei piani medesimi (§. 333). Qui si fa astrazione d'ogni ostacolo, che il grave possa incontrare nel passare da un piano a quello successivo. Se quei piani hanno una lunghezza infinitesima e diventano così i latercoli della curva, in cui si cambia la serie dei piani così congiunti; allora quest'ostacolo è tolto, e si avrà che un grave, facendo astrazione dall'attrito ordinario, nel discendere per una curva acquista una velocità eguale a quella che prenderebbe discendendo liberamente dall'altezza verticale. Per questa velocità il grave è capace di risalire per un'altra

curva alla stessa altezza di prima, dove il moto per un momento è estinto per ritornare subitamente a fare una nuova discesa ed una nuova salita dalla parte opposta. In tal maniera le oscillazioni del grave sulla curva continuerebbero indefinitamente, se non vi fossero le resistenze dell'aria e dell'attrito. Queste oscillazioni, che vanno però sempre diminuendo in causa degli accennati ostacoli, si possono osservare con una palla d'avorio, che discenda per un canale concavo per salire verso l'opposta estremità. Il *trastullo*, detto con vocabolo straniero *joujou*, dipende da questi principii.

336. I geometri si sono occupati a rinvenire *la linea della più veloce discesa* per un grave da un punto verso un altro più basso non situato sulla stessa verticale. La retta è bensì il più breve cammino, ma non è la linea della più veloce discesa d'un grave. Colla geometria si è trovato che la *cicloide*, detta per ciò *brachistocrona*, è la linea della più veloce discesa.

Si abbiano tre canali, l'uno rettilineo, l'altro circolare e il terzo cicloidale, applicati in maniera a sostegni, che colle loro estremità riuniscono due punti, l'uno superiore e l'altro inferiore, non situati nella stessa verticale, e si avrà l'*apparato* con cui nelle scuole si dimostra che i gravi (palle d'avorio) discendono più presto per l'arco cicloidale che pel circolare, più presto per l'arco circolare che pel canale rettilineo.

337. Un'altra proprietà della cicloide si è che archi differenti sono percorsi da un grave sempre nell'egual tempo; mentre sappiamo che, per un piano inclinato, la discesa si fa in tempi che seguono la ragione della radice quadrata degli spazii percorsi (§. 326). Per questa proprietà la cicloide viene altresì chiamata linea *tautocrona*. Si può sperimentare questa proprietà con un canale concavo cicloidale ed un pendolo, mostrando che ad ogni battuta del pendolo il grave percorre qualunque arco di quel canale nell'egual tempo. Col calcolo poi si trova che il tempo impiegato da un grave nel discendere per la cicloide sino al punto infimo di essa, è espresso da $t = \sqrt{\frac{r}{g}}$, dove r è il raggio del circolo generatore di quella curva e g la gravità. Questo valore, essendo affatto indipendente dal sito del punto di partenza del grave nel discendere, c'insegna appunto il *tautocronismo* della cicloide.

338. Paragoniamo ora i moti dei gravi posti su differenti piani inclinati. Siano x, y, z le gravità relative d'un corpo posto su tre dif-

ferenti piani inclinati, le cui altezze sono rispettivamente a, a', a'', e le lunghezze l, l', l''; si avrà (§. 326)

$$x=g.\frac{a}{l},\quad y=g.\frac{a'}{l'},\quad z=g.\frac{a''}{l''},$$

e quindi la proporzione

$$x:y:z::\frac{a}{l}:\frac{a'}{l'}:\frac{a''}{l''}.$$

Quando i piani abbiano eguale altezza, allora *le gravità relative sono in ragione inversa delle rispettive lunghezze;* che se siano eguali le lunghezze, *le gravità relative seguono la ragion diretta delle altezze.*

I rapporti delle velocità finali v, v', v'' si hanno dal riflettere che esse sono debite all'altezza rispettiva del piano percorso dal grave (§. 333), e che il valore di ciascuna si ha dalle equazioni (§. 244), $a=\frac{v^2}{2g}$, $a'=\frac{v_{,}^2}{2g}$, $a''=\frac{v_{,,}^2}{2g}$, da cui si ottiene la proporzione: $v:v'::v''::\sqrt{a}:\sqrt{a'}:\sqrt{a''}$; cioè *le velocità finali, su diversi piani inclinati, stanno come le radici quadrate delle altezze dei piani medesimi.*

In riguardo agli spazii descritti nel medesimo tempo sui tre piani, si trova che essi seguono gli stessi rapporti delle gravità relative. Infatti, ritenendo le stesse denominazioni e chiamando s, s', s'' gli spazii descritti in quel tempo, si hanno le equazioni (§. 326):

$s=\frac{gt^2\,a}{2\,l}$; $s'=\frac{gt^2\,a'}{2\,l'}$; $s''=\frac{gt^2\,a''}{2\,l''}$, e perciò il rapporto annunziato.

Gl'interi piani poi saranno percorsi dal grave in differenti tempi, che chiameremo t, $t_{,}$, $t_{,,}$, e in tal caso gli spazii diventano le intere lunghezze l, l', l''. Sarà quindi

$$l=\frac{gt^2\,a}{2\,l};\quad l''=\frac{gt_{,}^2\,a'}{2\,l'};\quad l''=\frac{gt_{,,}^2\,a''}{2\,l''}.$$

dalle quali equazioni si deduce la proporzione:

$$t:t_{,}:t_{,,}::\frac{l}{\sqrt{a}}:\frac{l'}{\sqrt{a'}}:\frac{l''}{\sqrt{a''}}$$

Da cui si apprende che, essendo eguali le lunghezze dei piani, *i tempi per percorrerli sono in ragion inversa delle radici quadrate delle altezze.* Quando invece siano eguali le altezze, *i tempi riescono proporzionali alle lunghezze,* o agli spazii descritti dal grave.

339. Sul moto dei gravi pei piani inclinati, il quale è uniformemente accelerato nella discesa ed uniformemente ritardato nella salita, si possono proporre alcuni problemi analoghi a quelli pel moto verticale (§. 249). Ecco alcuni di questi problemi per esercizio.

I. *Determinare il tempo che impiegherà un grave nel percorrere un piano inclinato di nota altezza e lunghezza.* La formola pel tempo nella caduta libera (§. 244), adattata alla discesa lungo i piani inclinati (§. 326), si trasmuta in quest'altra $T=L\sqrt{\frac{2}{Ag}}$, che scioglie il problema.

II. *Si domanda la velocità finale d'un grave che discende per un piano inclinato.* La formola per la velocità nella caduta libera nel percorrere l'altezza del piano, dà anche la velocità finale lungo il piano (§. 333), e si ha $V=\sqrt{2g.A}$ per la soluzione del problema.

III. *Si cerca lo spazio che descriverebbe un grave per caduta verticale nello stesso tempo che questo percorre un piano inclinato di altezza e lunghezza note.* Chiamando x lo spazio domandato ed A, L l'altezza e la lunghezza del piano, si ha (§. 331) $x=\frac{L^2}{A}$.

IV. *Si desidera conoscere la spazio percorso da un grave sopra un piano inclinato nello stesso tempo che cade liberamente dalla sua altezza.* Denominando x lo spazio richiesto ed A, L l'altezza e la lunghezza del piano, si ha (§. 331) $x=\frac{A^2}{L}$.

V. *Quale velocità acquista un grave lungo un piano inclinato nello stesso tempo che per caduta verticale ne percorre l'altezza?* Si dica x la velocità che si cerca e si noti come precedentemente l'altezza e la lunghezza del piano, si avrà (§. 330) $x=\frac{A}{L}.\sqrt{2g.A}$.

VI. *Determinare quale lunghezza debba avere un piano inclinato di nota altezza, affinchè sia percorso da un grave in un dato tempo.* Notiamo con x la lunghezza mentre A è l'altezza e T il tempo necessario per percorrere dal grave quella lunghezza del piano inclinato, e prendiamo la formola per avere lo spazio nella caduta libera (§. 244) che si trasformerà (§. 326) in questa per lo spazio

lungo il piano inclinato, cioè si avrà $x=\frac{gt^2A}{2x}$, da cui si ottiene

$x=t\sqrt{\frac{Ag}{2}}$.

VII. *Si vuole sapere lo spazio percorso da un grave nell'ascendere per un piano inclinato, su cui è lanciato con una velocità iniziale data.* Si chiami x lo spazio descritto dal grave nel salire pel piano con moto uniformemente ritardato, e si prenda l'equazione che dà lo spazio pel moto verticale dei gravi (§. 245) adattandola al solito pel moto pei piani inclinati, si avrà $x=\frac{C^2}{2g}\frac{L}{A}$.

VIII. *Quale velocità rimane ancora ad un grave che, nell'ascendere per un piano inclinato con una velocità iniziale data, ha percorso sul medesimo uno spazio parimenti dato?* L'equazione che conduce (§. 245) alla soluzione del problema è $W=\sqrt{(C^2-\frac{2g.AS}{L})}$.

IX. *Si domanda il tempo che verrà impiegato da un grave a discendere per un piano inclinato, essendo previamente fornito d'una data velocità?* Il tempo domandato è $T=\frac{L}{Ag}(-C+\sqrt{C^2+2Ag})$, come dalle formole (§. 244). Se il grave nel discendere non fosse previamente fornito della velocità C, il tempo richiesto sarebbe

$T=L\sqrt{\frac{2}{Ag}}$.

X. Fra altri problemi che si possono dare intorno al moto dei gravi sui piani inclinati presentiamo allo studioso anche il seguente, senza dare la formola per iscioglierlo, la quale si trova facilmente. *Si domanda quale velocità bisognerà imprimere ad un grave, perchè questo discenda per l'intera lunghezza d'un piano inclinato nello stesso tempo che cadrebbe liberamente dall'altezza del medesimo.*

340. Si è detto che le forze alcune sono *istantanee* o *impresse*, altre *continuate* o *motrici* (§. 186). Sinora nel moto composto si è considerato il caso che le forze agenti siano tutte impresse o tutte motrici costanti (§. 256), cioè della stessa specie; dobbiamo quindi far cenno del moto prodotto dall'azione simultanea d'una forza impressa e di una motrice, che agiscono fra loro sotto un angolo qualunque. Per poco si rifletta, si vede che il punto materiale, mentre camminerebbe in direzione rettilinea colla velocità impressagli dalla forza istan-

tanea, viene continuamente disvolto dalla sua direzione per l'azione continuata dalla forza motrice, per cui piega ad ogni istante e descrive una curva. Il moto dunque prodotto da due forze eterogenee agenti ad angolo è *curvilineo*.

Il moto curvilineo presenta parecchi esempi in natura: tale è quello risultante dalla gravitazione degli astri e dall'impulsione che essi hanno ricevuto al momento della creazione, allorquando furono librati nello spazio; e tale è l'altro prodotto dalla forza di projezione e dalla gravità. La palla lanciata obliquamente dal fucile, il getto laterale d'una fontana presentano come i pianeti e moltissimi altri astri esempi del moto curvilineo.

341. Sia il punto materiale M (fig. 75) sollecitato dalla forza impressa MA, capace di fargli descrivere in un certo tempo quello spazio, e simultaneamente da una forza acceleratrice atta a fargli percorrere nello stesso tempo lo spazio MB. Egli è chiaro che, pel principio generale del moto (§. 254), il punto materiale dopo quel tempo si troverà in D. Nel passaggio da M in D il mobile non percorrerà la diagonale del parallelogrammo ADBM; ma la curva MxD, per essere continuata l'azione della forza diretta verso D, la quale fa sì che le deviazioni del cammino rettilineo succedano ad ogni istante. Pervenuto il corpo in D, dove cessasse la forza motrice, esso prenderebbe il cammino rettilineo in virtù della velocità di cui è investito, e in un certo tempo percorrerebbe la linea DE tangente a quella curva nel punto D. Continuando però l'azione della forza diretta al punto C ed essendo essa capace di far descrivere al mobile lo spazio DF in quello stesso tempo, ne verrà che, per l'azione simultanea delle due forze, il corpo si troverà nel punto G percorrendo la curva DzG. Proseguendo a ragionare in tal maniera vedesi chiaramente che il punto materiale sollecitato dalle due forze eterogenee si moverà per la linea curva MxDzGO, la quale chiamasi *trajettoria* del mobile.

La curva descritta in tal modo è collocata sul piano che passa pel punto C, dove è diretta la forza motrice, per la linea MA indicante la direzione della forza impressa; per la ragione che la diagonale del parallelogrammo AB deve trovarsi nel piano dove sono situati i suoi due lati MA, MB. Lo stesso si dica degli altri parallelogrammi, e quindi la trajettoria giace nel piano che passa pel centro C della forza motrice e per la direzione MA della forza impressa.

342. La forza impressa prende il nome in questo caso anche di *forza di projezione*; e si denomina poi *velocità di projezione* quella

di cui è dotato il mobile in virtù della forza medesima. Siccome poi il mobile, in ogni punto della curva descritta, tende a scappare per la tangente alla medesima in quel punto; così la velocità e quindi la forza con cui procederebbe in linea retta per la tangente chiamansi rispettivamente *velocità e forza tangenziale*. La forza continuata, che tende ad ogni istante a far deviare il mobile dal cammino rettilineo ed è diretta colla sua azione verso un punto fisso, prende il nome di *forza centrale* o più particolarmente di *forza centripeta*. Il punto C, verso cui è diretta l'azione della forza, chiamasi *centro delle forze*. Qualunque retta, condotta da questo punto alla trajettoria, chiamasi *raggio vettore*; talchè CM, CD sono altrettanti raggi vettori.

La trajettoria poi percorsa dal mobile, se rientra in se stessa come è del circolo e dell'elisse, prende il nome particolare di *orbita*.

343. Colla geometria si dimostra che *le aree descritte dai raggi vettori sono in ragione dei tempi impiegati a trascorrerle*. Se quindi il punto materiale, che percorre la trajettoria AxDzGO (fig. 75), impiega a venire da M in D il tempo T e da D in G il tempo t, staranno le aree descritte dai raggi vettori o i triangoli mistilinei

$$CMxD : CDzG :: T : t.$$

La proposizione inversa ha pur luogo: cioè, *se le aree dei raggi vettori sono proporzionali ai tempi corrispondenti, la forza che sollecita il mobile è diretta verso l'origine delle aree in tutto il tempo del moto*.

Questa proprietà, che si chiama il *principio delle aree*, somministra il carattere per conoscere quando il movimento curvilineo ha luogo in virtù d'una forza centrale.

Il moto per una trajettoria può essere accelerato, ritardato ed anche uniforme. Questo ultimo caso ha luogo quando la trajettoria è un cerchio e la forza motrice è costante nella sua azione sul mobile.

344. Sia AB lo spazio che il punto materiale, in virtù della forza istantanea, descriverebbe perpendicolarmente al raggio AO in un tempo piccolissimo (fig. 76), ed AD quello corrispondente che esso percorrerebbe in virtù della forza centripeta nello stesso tempo. Per l'azione simultanea delle due forze, il mobile percorrerà la diagonale AC (§. 256) o l'arco corrispondente con cui questa retta si confonde come corda atteso la picciolezza del tempo d'azione. Si prolunghi il raggio AO sino ad incontrare la circonferenza in E, e si avrà per la proprietà del cerchio

$$\overline{CD}^2 = AD.\ DE, \text{ ossia } \overline{CD}^2 = AD\ (AE - AD);$$

da cui, facendo lo sviluppo e le opportune sostituzioni, si ottiene

$\overline{AC}^2 = AD \times 2r$, rappresentando r il raggio. Da ciò risulta $AD = \frac{\overline{AC}^2}{2r}$.

Nel cerchio la forza centripeta è motrice costante, che chiameremo φ; per cui lo spazio, che essa farebbe descrivere al punto materiale nel tempo t, sarà espresso da $AD = \frac{\varphi t^2}{2}$ (§. 241). Inoltre lo spazio AC descritto per la trajettoria è $AC = vt$ (§. 221). Sostituendo questi valori nell'equazione superiore si ha $\frac{\varphi t^2}{2} = \frac{v^2 t^2}{2r}$, da cui si ricava $\varphi = \frac{v^2}{r}$.

Da questo valore si apprende che *la forza centrale nel circolo è in ragione diretta del quadrato della velocità di circolazione ed inversa del raggio.*

Ogni velocità può essere riferita a quella, che acquisterebbe un grave cadendo da una certa altezza; chiamando quindi a l'altezza debita alla velocità v, si ha $v^2 = 2ga$ (§. 247), e quindi $\varphi = \frac{2ga}{K}$. Dalla quale equazione si ricava $\varphi : g :: a : \frac{r}{2}$; cioè *la forza centrale sta a quella di gravità, come l'altezza debita alla velocità per la trajettoria sta alla metà del raggio vettore.*

345. Si è detto che la forza, la cui azione è diretta costantemente ad un punto fisso, dicesi *forza centripeta* (§. 342). Parecchi fisici oppongono alla centripeta una forza eguale detta *centrifuga*, ed alcuni scrittori hanno sparso qualche confusione intorno a questa seconda forza. Importa quindi di dichiarare il vero senso di ambedue quelle forze. La centrifuga è della natura delle semplici pressioni, ed è propriamente la reazione che il corpo per la sua inerzia oppone alla forza centripeta, la quale fa deviare il mobile dal suo cammino rettilineo. Non manifestandosi la reazione se non quando viene ad esercitarsi l'azione (§. 228), per ciò la forza centrifuga suppone sempre l'esistenza della centripeta. Siccome poi la reazione è eguale e contraria all'azione (§. 218); così è chiaro che la forza centrifuga

deve in ogni caso essere eguale e contraria alla centripeta. Le due forze centripeta e centrifuga si comprendono generalmente sotto il nome di *forze centrali*.

Sia il mobile A ritenuto al punto fisso O da un filo inestendibile senza gravità (fig. 77): egli è chiaro che, se gli venga dato un impulso nella direzione AD normale al filo e tendente per conseguenza ad allontanarlo dal centro, il punto materiale descriverà la circonferenza che ha per raggio OA, non potendosi in virtù dell'azione del filo discostare dal centro. Sia AF la forza centripeta o la tensione del filo che ne fa le veci, componendo le due forze AF, AD, la risultante AB dovrà incontrare la circonferenza in un punto B. Compiendo l'altro parallelogrammo ABDE, risulta la forza AD decomposta nelle due AB, AE, la prima delle quali ha il suo effetto e l'altra è elisa dall'opposizione del filo. Questa forza AE porzione della tangenziale o di proiezione, che reagisce contro il filo ed eguaglia la tensione di esso diretta a distrarre il mobile dalla via rettilinea ed a guidarlo per la trajettoria, è nel suo vero senso la *forza centrifuga*, la quale non esisterebbe se il filo non agisse per trarre fuori il mobile dal suo cammino diretto. Il mobile sollecitato in tal modo da due forze, l' una AF continuata e l'altra AD istantanea, percorre l' arco corrispondente alla diagonale del parallelogrammo costrutto su queste forze. Ora AF=BD=AE, quindi AF=AE; e quindi si verificò, ciò che si disse, che la forza centrifuga eguaglia sempre la centripeta. Invece di AE, opposta direttamente alla centripeta, alcuni scrittori chiamano forza centrifuga la laterale AD (1), che è la tangenziale (§. 342).

Le leggi quindi della forza centripeta si applicano alla centrifuga, cui quella è eguale; e per ciò si verificheranno le proporzioni precedentemente trovate (§. 344).

346. Si prenda per unità di tempo un istante sì piccolo che il moto per l'arco, qualunque sia la causa, possa ritenersi come uniforme: in tal caso la velocità in quel sito sarà eguale allo spazio o all'arco percorso diviso pel tempo rispettivo (§. 221. È questa la *velocità effettiva* o *reale*, che va distinta dall'altra che appellasi *velocità angolare* od *apparente*.

Quest'ultima appunto è quella velocità, che si mostra all'occhio in un corpo che si muove intorno ad un centro, e che si valuta

(1) Così Gerbi nel suo *Corso di fisica*, tom. I, pag. 237, confondendo la forza tangenziale colla centrifuga.

dall'angolo formato nel nostro occhio o nel punto cui si riferisce, dai raggi estremi dell'arco percorso in quel dato tempo. Se osserviamo da un punto corpi differentemente distanti, che si muovano intorno a noi, la velocità dei più lontani può apparire minore di quella dei meno lontani, quantunque i primi siano dotati di velocità effettiva maggiore di quella dei secondi; e ciò per la ragione che l'angolo descritto nell'unità di tempo dai più distanti riesce minore dell'angolo corrispondente descritto dai più vicini. È appunto dalla velocità angolare che giudichiamo del movimento più o meno celere delle nubi, dei pianeti e di tutti gli astri, e tale velocità può essere molto differente dalla reale di cui quei corpi sonn dotati.

Gli angoli stanno in ragione diretta degli archi, da cui sono misurati, ed inversa dei raggi appartenenti agli archi medesimi, i quali comprendono un maggior numero di gradi quanto minori sono le circonferenze cui appartengono, o più piccoli i raggi da cui sono descritte. Un angolo per tale duplice proporzionalità si rappresenta dall'arco rispettivo diviso pel raggio dell'arco medesimo.

Chiamando α l'angolo, a l'arco da cui è misurato ed r il raggio, si avrà $\alpha=\frac{a}{r}$. La velocità effettiva v, notando t il tempo, sarà espressa da $v=\frac{a}{t}$. Sostituendo nella prima equazione il valore di a, risulta $\alpha=\frac{vt}{r}$, ossia $\frac{\alpha}{t}=\frac{v}{r}$, dove $\frac{\alpha}{t}$ rappresenterà la velocità angolare. Da ciò si apprende che *le velocità angolari sono in ragione composta diretta delle effettive ed inversa dei raggi*; e quando le velocità effettive siano eguali, *le velocità angolari sono in ragion inversa dei raggi*, e se questi sono eguali, allora *le velocità angolari stanno come le effettive*. Dall'essere poi $\alpha=\frac{vt}{r}$, si ha $t=\frac{\alpha r}{v}$, da cui s'impara che, per descrivere l'intero cerchio, è necessario *un tempo proporzionale al raggio diviso per la velocità effettiva*.

347. Se la forza centripeta è data e costante per rispetto alla distanza, cui trovasi il mobile dal centro d'azione, non vi ha che una determinata forza tangenziale atta a produrre il moto circolare, e la prima deve essere normale alla seconda forza e tale che si verifichi sempre $\varphi=\frac{v^2}{r}$ (§. 344). Quando, invece della forza centri-

peta, abbiavi un filo o un cordoncino che ritiene il corpo sempre ad egual distanza dal centro d'azione, o qualsivoglia altro agente capace di aumento e di diminuzione al bisogno; allora la velocità v può variare senza che il mobile cessi di percorrere la periferia del cerchio: basta solo che φ aumenti o diminuisca in modo che riesca sempre $\varphi=\frac{v^2}{r}$. In tal caso il filo sarà più o meno teso, o la forza centrale eserciterà un'azione più o meno grande. Se pertanto la velocità v aumentasse in modo che la forza centrifuga φ giunga a vincere la tenacità delle molecole del filo o del cordoncino, allora questo si romperà ed il mobile si allontanerà dalla periferia del circolo sfuggendo per la tangente in quell'istante in cui il filo si rompe. Premesse queste considerazioni proponiamo da sciogliersi i problemi seguenti intorno al moto d'un corpo che circola attaccato all'estremità d'un filo.

I. Si domanda la tensione d'un filo della lunghezza di metri 2, 5. alla cui estremità è attaccato un corpo che si muove circolarmente colla velocità di 10 metri per secondo?

II. Si cerca qual velocità è mestieri imprimere ad un corpo appeso ad un filo della lunghezza di metri 2, affinchè circolando, giunto al colmo dell'arco superiore, non cada in virtù della propria gravità?

III. Determinare quale dovrà essere la lunghezza del filo che tiene sospeso un corpo, onde con moto circolare e colla velocità di 8 metri per secondo, giunto al colmo dell'arco, non cada in virtù del proprio peso?

IV. Un corpo di 3 chilogrammi attaccato ad un cordoncino di metri 1, 8 di lunghezza e della tenacità di 15 chilogrammi, con quale velocità al più potrà essere mosso circolarmente onde il filo non si rompa?

V. Quale sarà la più grande lunghezza che può avere un filo, col quale è sospeso un corpo di chilogrammi 2, affinchè, movendosi questo circolarmente con una velocità di 10 metri, non si rompa il filo medesimo, che ha la tenacità di chilogrammi 12?

348. Si può determinare la tensione, che in virtù della forza centrifuga prova il filo, cui è attaccato un grave che oscilla per archi circolari. Chiamando a l'altezza da cui discende il corpo nel cadere per l'arco circolare d, e ritenendo che $\varphi=\frac{2ag}{r}$ (§. 344), si trova $\varphi=\frac{2g.\text{sen. ver.}\,d}{r}$. Da cui si apprende che *le forze centrifughe*

sono in ragione dei seniversi degli archi percorsi dal corpo. Dato l'arco *d*, si conosce il seno verso e quindi la tensione φ del filo. Gli acrobati, che oscillano nella stessa maniera per archi circolari, tendono il filo in ragione del seno verso dell'arco, che percorrono nell'oscillare.

349. Colle dottrine su esposte, intorno al moto per le traiettorie circolari, si spiegano le diverse posizioni d'equilibrio e i diversi atteggiamenti dei saltatori, che percorrono sopra i cavalli la periferia d'un circo. Il cavallerizzo in questa sorta d'equilibrii non è ritenuto al centro da veruna forza: egli quindi, per controbilanciare la forza centrifuga nata dalla circolazione, s'inclina più o meno all'orizzonte verso il centro del circolo. Per analizzare gli equilibrii differenti, che il cavallerizzo fa in questi giuochi equestri, sia C il centro di gravità dell'uomo sul cavallo (fig. 78): egli s'inclina in maniera che la forza centrifuga orizzontale CF e quella verticale CG della gravità abbiano la risultante CR, la quale passi per la parte dei piedi appoggiata sul cavallo. Imperciocchè, per l'equilibrio del cavallerizzo, bisogna che la risultante delle due forze trovi qualche punto di sostenimento, altrimenti essa produrrebbe il suo effetto e sarebbe cagione della caduta. Il cavallerizzo poi deve aver riguardo alle oscillazioni cui è soggetto il suo corpo, a quelle inerenti al moto del cavallo, ed alla forza centrifuga che incessantemente tende a spingerlo lontano dal centro della circonferenza percorsa, e cresce in ragion del quadrato della velocità di circolazione. Per tutte queste circostanze la risultante può cambiare di posizione e sortire facilmente dalla base dei piedi, con cui il cavallerizzo si appoggia sul destriero. Egli è per ciò che non è senza difficoltà l'arte di atteggiarsi e di equilibrarsi sopra cavalli, che percorrono la periferia d'un circo. La difficoltà cresce maggiormente quando il giuocolatore riposa sul dorso nudo del cavallo, per la cedevolezza delle parti, su cui sta appoggiato coi piedi, la quale rende ancor più pericolose quelle oscillazioni.

È nota in tutta l'Italia e in Europa la compagnia equestre diretta da Guerra, e la grande abilità ed arditezza di questo cavallerizzo. Sotto la figura di Mercurio (§. 312) l'abbiamo veduto star ritto sul dorso nudo del destriero, che a gran carriera percorreva la periferia del circo: mirabile era l'osservarlo tra il contrasto di molte forze, l'una (la centrifuga) che tendeva a lanciarlo fuori del circo, l'altra (la gravità) che lo attirava verso il suolo; una terza (l'urto dell'aria) che lo spingeva indietro; alcune infine (il moto del cavallo e la ce-

Digitized by Google

devolezza della base) che gl'imprimevano delle oscillazioni: mirabile, diceva, era il vederlo in mezzo al conflitto di queste forze, tutte dirette in ogni istante a farlo rovinare, sapere equilibrarsi sulla punta d'un sol piede appoggiata al dorso del cavallo. Mirabile certamente è la perizia di lui nell'arte dell'equitazione, quando ben si rifletta alla difficoltà di trovare la direzione di equilibrio con una risultante di forze tanto variabili di posizione.

350. La direzione della forza centrifuga CF (fig. 78) è orizzontale, mentre quella di gravità CG è verticale; talchè queste due forze e la loro risultante CR formano il triangolo rettangolo CGR, in cui l'angolo CRG è quello sotto cui il cavallerizzo deve inclinarsi. Si denomini α quest'angolo, e dicansi al solito φ, g la forza centrifuga e la gravità: si avrà $g : \varphi :: \text{sen.}\alpha : \cos.\alpha$, da cui si deduce $\varphi = \frac{\cos.\alpha}{\text{sen.}\alpha}.g$. Ora si sa essere $\varphi = \frac{v^2}{r}$, in cui v è la velocità del cavallerizzo ed r il raggio del circo, per ciò si avrà $\frac{v^2}{r} = \frac{\cos.\alpha}{\text{sen.}\alpha}.g$; donde, dato l'angolo d'inclinazione α, si ottiene $v = \sqrt{\frac{gr}{\text{tang.}\alpha}}$, e data la velocità d'inclinazione si ha $\text{tang.}\alpha = \frac{gr}{v^2}$.

351. Paragoniamo ora le forze centrali di due masse che si muovono circolarmente con velocità date; giacchè nei rapporti superiormente trovati (§. 344) si è considerata soltanto la forza, che sollecita un punto materiale. Moltiplicando quindi per la massa la forza debita al punto materiale o ad una molecola, si avrà la forza centrale per la massa medesima, che sarà $\varphi m = \frac{mv^2}{r}$, la quale forza detta f si avrà $f = \frac{mv^2}{r}$. Da ciò si apprende che *le forze centrali sono in ragione composta diretta delle masse e dei quadrati delle velocità ed inversa dei raggi vettori;* e se le masse e le velocità sono eguali *le forze centrali sono in ragion inversa dei raggi vettori.*

352. Il moto per un'intera curva rientrante in se stessa, come è il circolo, si fa in un dato tempo, dopo il quale il mobile ritorna a percorrere il cammino di prima. In tal caso la durata dell'intera circolazione prende il nome di *tempo periodico.* Il moto per le trajettorie

circolari riesce uniforme (§. 343), e la velocità di questo moto, eguagliando lo spazio diviso pel tempo (§. 221), sarà espressa dall'intera periferia divisa pel tempo periodico, cioè sarà $v=\frac{2\pi r}{t}$. Sostituendo nell'equazione precedente $f=\frac{mv^2}{r}$ questo valore di v, si ha $f=\frac{4\pi^2 mr}{t^2}$. Essa c'insegna che, essendo eguali le masse ed i raggi vettori, *le forze centrali sono in ragione inversa dei quadrati dei tempi periodici*. Che se i tempi periodici siano eguali, e siano altresì eguali le forze centrali, allora, avendosi per un'altra massa $F=\frac{4\pi^2 MR}{T^2}$, deve risultare $MR=mr$, e quindi $M : m :: r : R$: ciò significa che, per riuscire eguali le forze centrali con tempi periodici del pari eguali, *le masse circolanti bisogna che siano in ragion inversa dei raggi vettori*. Quando fosse invece $M=m$, $T=t$, in tal caso è mestieri che sussista la proporzione $F : f :: R : r$; vale a dire che due masse eguali, nel descrivere due differenti trajettorie circolari nel medesimo tempo periodico, debbono essere sollecitate da *forze centrali che siano in ragione dei raggi vettori*. Osserviamo che superiormente (§. 331), le forze centrali si sono trovate inversamente proporzionali ai raggi vettori; in tal caso però bisogna che le velocità di circolazione siano eguali.

333. La forza centrale nella stessa trajettoria circolare si conserva sempre eguale a $\frac{v^2}{r}$ (§. 344); ma variando il raggio varia del pari la forza. Se quindi al variare la lunghezza del raggio vettore o la distanza del centro d'azione della forza, questa fosse, al pari della gravità, in ragion inversa del quadrato delle distanze (§. 125) si avrebbe per due forze centrali $F : f :: \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2}$. Ma pel paragrafo precedente si è trovato che $F : f :: \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$; perciò sarà $\frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2} :: \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$, ossia $T^2 : t^2 :: R^3 : r^3$. In questo consiste la legge verificata da Keplero pel movimento dei pianeti (§. 129), cioè che *i quadrati dei tempi periodici stanno come i cubi dei raggi*

vettori. Che se questa legge sia un fatto stabilito dall'osservazione, come è stato trovato da Keplero, allora ne viene la conseguenza che *le forze centrali stanno nella ragion inversa dei quadrati delle distanze*. Infatti, essendo dato dall'osservazione $T^2 : t^2 :: R^3 : r^3$, e per le dottrine delle forze centrali sapendosi che $F : f :: \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$ si avrà $F :: f :: \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2}$, cioè *le forze in ragione inversa dei quadrati delle distanze*. Ecco dunque come una tale legge è la conseguenza delle forze centrali e d'un fatto rinvenuto dall'osservazione nell'analisi dei moti dei pianeti.

354. Le principali leggi delle forze centrali si dimostrano nelle scuole coll'esperienza mediante l'apparato detto per ciò *machina delle forze centrali*. Consiste essa in un tavolino triangolare ABCD (fig. 79), verso un angolo del quale s'innalzano due piedritti fra loro paralelli, che sostengono l'asse della ruota verticale R girevole mediante il manubrio M. La ruota è scanalata, e nella gola della sua periferia riceve una fune che, incrociandosi inferiormente sulla girella G, passa poscia sulle piccole girelle C, D fisse sul tavolino, per le quali i due tratti della fune sono trasmessi in direzione orizzontale. A ciascuno degli altri due angoli è applicato un albero girevole entro apposite cavità, sul quale sta infissa pel suo centro una ruota orizzontale, destinata a portare gli ordigni, che servono alle sperienze. I tratti della fune si prolungano e ciascuno di essi si avvolge ed entra nella gola della ruota orizzontale corrispondente A, B, e coi loro capi si congiungono in modo da formare una fune continua. Mettendo in rivoluzione la ruota verticale, il moto si comunica col mezzo della fune a quelle orizzontali, le quali, girando sui loro assi, prendono un moto di circolazione coi corpi su di esse disposti.

Alla machina vanno uniti alcuni regoli di legno come E, F, su alcuni dei quali sono tesi dei fili d'ottone, che sostengono col mezzo di anelli palle d'avorio d'eguale o di differente massa, e facilmente scorrevoli sui fili medesimi; sopra altri sono disposti tubi di vetro inclinati verso il mezzo dei regoli e contenenti liquidi e corpi di differente densità. Avvi altresì un regolo munito nel suo mezzo di due assicelle metalliche ad esso perpendicolari e riunite superiormente da una traversa. A questa traversa sono attaccate due ruotelle scanalate, nella cui gola entrano dei cordoncini, ad un capo dei quali è appeso in ognuno un recipiente di metallo. I cordoncini

passano coll'altro capo sopra ruotelle fisse al regolo vicino alla base dei piedritti, e si distendono parallelamente alle due braccia del regolo stesso congiungendosi ognuno con una specie di scatoletta. I due recipienti e le due scatolette sono scorrevoli fra fili d'ottone ben tesi che servono loro di guida, e mentre le seconde concepiscono un moto orizzontale, i primi prendono un moto verticale. Quando una scatoletta è spinta da una forza qualunque verso l'estremità del regolo, tira il cordoncino e con esso innalza il recipiente. Di tutti questi ordigni vedremo quanto prima l'uso nelle sperienze, che s'istituiscono nella scuola colla machina delle forze centrali.

355. Colla machina delle forze centrali si dimostra *il nascimento della forza centrifuga nel movimento di rotazione*, collocando sopra una delle ruote orizzontali il regolo colle palle d'avorio, una delle quali si dispone ad una certa distanza dal centro di movimento. Mettendo in moto la ruota verticale si muovono con velocità quelle orizzontali, e la palla d'avorio circola, e nasce la forza centrifuga che la slancia all'estremità del regolo. Lo stesso si prova col regolo a scatolette, in un dei recipienti del quale si pongono dei pesi e la scatoletta corrispondente si colloca ad una certa distanza dal centro di rotazione. La scatoletta concepisce nel moto rotatorio una forza centrifuga, che innalza il recipiente coi pesi.

La forza centrifuga è capace di far ascendere dei corpi lungo piani inclinati. Mettendo sulla ruota orizzontale il regolo coi tubi di vetro, ed imprimendo al solito il moto di rotazione, i corpi che trovansi in questi tubi ascendono per essi e si portano all'estremità opposta più elevata.

356. Colla machina delle forze centrali si dimostra che *le forze centrifughe seguono la ragione delle masse*, essendo eguali i raggi vettori e le velocità di circolazione. In uno dei tubi di vetro applicati al regolo ed inclinati verso il mezzo di esso, si contiene dell'*olio di tartaro* (sotto-carbonato di potassa) e *spirito di vino* (alcoole); in altro *acqua* e *mercurio*, nel terzo *acqua* e *sovero*; e nel quarto *acqua* e *piombo*. Disposto il regolo sopra la ruota orizzontale della machina, che si fa girare al modo solito, si vede che i corpi più densi, che risiedevano al basso del tubo, salgono verso l'alto sollecitati dalla forza centrifuga, e i corpi che galleggiavano o sovrastavano ai più densi prendono il posto al disotto di questi. Legge che si apprende dall'equazione $f=\frac{mv^2}{r}$ (§. 352).

Col regolo munito di palle d'avorio si dimostra del pari una tale

legge, disponendo due di queste palle di diversa massa egualmente distanti dal centro di rotazione e collegate fra loro mediante un cordoncino. Mettendo in moto la machina, la palla di maggior massa concepisce maggior forza centrifuga e strascina con sè l'altra di minor massa. Egualmente si opera col regolo a scatolette, in una delle quali si pone un peso maggiore di quello posto nell'altra, e si collocano ambedue ad eguale distanza dal centro di rotazione; esperimentando coll'apparato così disposto si trova che, a pari velocità, la scatoletta di maggior massa concepisce una forza centrifuga capace di innalzare un maggior peso posto nel recipiente corrispondente.

357. Per dimostrare che *le forze centrifughe seguono la ragione dei raggi vettori*, poste eguali le masse ed i tempi periodici, si fa uso del regolo a palle d'avorio, nel quale si dispongono due di esse dell'egual massa a distanze disuguali dal centro di rotazione, congiunte con un cordoncino Nella rotazione si vede che la palla circolante con maggior raggio vettore la vince e strascina con sè l'altra per la maggior forza centrifuga acquistata nella circolazione. Questa legge si deduce dalla formola $F=\frac{4\pi^2MR}{T^2}$ (§. 352).

358. Quando le forze centrifughe sono eguali si trova che *le masse sono in ragione inversa dei raggi vettori*. Nel regolo colle palle d'avorio si dispongono due di queste in modo che le loro distanze dal centro di rotazione siano reciprocamente come le masse o i pesi delle palle medesime. Facendo girare il regolo al solito, si trova che le palle rimangono al loro posto e quindi riescono eguali le forze centrifughe che nascono nella rotazione. Succede lo stesso se una sola palla si colloca in modo che il suo centro corrisponda al centro di movimento. La legge si ricava pure dalla formola precedentemente citata.

359. Da questi principii dipendono gli sperimenti che si istituiscono coll'*apparato di rotazione* seguente. Esso si compone della colonnetta PQ (fig. 80) impiantata normalmente sopra un basamento orizzontale AB. Verso la metà della colonnetta sta infisso un asse EF, sul quale è girevole una ruota scanalata R. Una fune entra nella gola di questa ruota, i cui due tratti, accavallandosi sopra due rotelle C, si prolungano orizzontalmente e si congiungono in fune continua passando sopra una terza rotella D, sostenuta da un'asti-

cella collocata a squadra sulla sommità della colonnetta. Facendo girare la ruota R, gira con grande velocità la ruota D unitamente al suo asse verticale appoggiato entro cavità. All'estremità inferiore di quest'asse è attaccata una funicella, cui sta appeso un solido S di data forma. Se questo solido è fatto di materia omogenea ed ha un asse d'euritmia, su cui cade il suo centro di gravità (§. 200) esso, nel ruotare intorno a quest'asse, conserva sempre l'asse medesimo nella posizione verticale. Ma se il solido non è omogeneo in tutta la sua massa e non è euritmetico intorno alla linea situata sul prolungamento della funicella, esso nella rotazione passa dalla posizione S all'altra S', rimovendo la funicella stessa dalla direzione verticale e prendendo intorno a questa linea una posizione tale che risultino eguali le forze centrifughe delle parti della massa poste all'intorno della linea medesima. Con questo apparato si possono istituire parecchi sperimenti su solidi di diversa forma e di diversa materia, per mostrare che la forza centrifuga, che ha nascimento nella rotazione, è capace di sollevare il centro di gravità del corpo e metterlo in quella posizione voluta dalle leggi delle forze centrali. Appendendo il solido successivamente per diversi punti si possono anche determinare su di esso altrettante rette sulle quali è situato il centro di gravità del corpo, e così far servire l'apparato per la determinazione del centro di gravità.

360. Ciascuna delle ruote orizzontali, della machina delle forze centrali, ha scavato nella sua periferia due gole concentriche, l'una di diametro doppio di quello dell'altra. La fune continua cinge e passa nella gola di minor diametro di una delle medesime; mentre nell'altra è avvolta alla gola di maggior diametro. In tal modo la prima fa due rivoluzioni nello stesso tempo che la seconda ne compie una sola. Ora, se a ciascuna delle ruote si obbliga un regolo a scatole e si faccia in modo che ognuna di quelle del primo regolo coi corpi rinchiusi abbia l'egual peso della scatola del secondo, e siano inoltre le medesime collocate ad eguale distanza dal centro rispettivo di rotazione, si osserva che la forza centrifuga è capace di elevare un peso quadruplo, nel movimento dell'ordigno che fa due rivoluzioni, in confronto del peso elevato dall'ordigno che ne fa una sola nel medesimo tempo. Da questo sperimento è facile dedurre le due leggi: l'una che *le forze centrifughe stanno come i quadrati delle velocità*, e l'altra che *le forze centrifughe sono in ragione inversa dei quadrati dei tempi periodici*.

Digitized by Google

La prima di queste leggi si riscontra nella formola $F=\frac{MV^2}{R}$ (§. 351),

e la seconda nella formola $F=\frac{4\pi^2MR}{T^2}$ (§. 352).

361. Ritenendo la fune avvolta come precedentemente, si può dimostrare che *le forze centrali sono nella ragion inversa dei quadrati delle distanze, quando i quadrati dei tempi periodici siano come i cubi delle distanze dei centri di moto*, essendo le masse eguali. A tal fine nella scatola, che impiega il tempo 1 per ogni rivoluzione, si ponga un corpo il quale, unitamente alla scatola, abbia il peso P. La scatola del regolo assicurato all'altra ruota si faccia, coll'aggiunta di nuovi pesi, del peso P'=P. Poscia si dispongano i pesi P, P' a distanze 2 e 3 $^1/_6$ dal rispettivo centro di moto; ossia i loro raggi vettori siano nel rapporto di 2 : 3 $^1/_6$. Mettendo in moto le ruote si osserva che il peso P acquista una forza centrifuga atta a sollevare il carico del rispettivo recipiente espresso da 10; mentre P' innalza il peso rappresentato da 4. Ora i tempi periodici, delle due masse eguali circolanti P, P', sono nel rapporto di 1 : 2 e i loro raggi vettori come 2 : 3 $^1/_6$. Il rapporto poi 1 : 4 dei quadrati dei tempi periodici eguaglia quello di 8 : 32 dei cubi dei raggi vettori. Mentre l'esperienza è istituita con queste condizioni, il risultato di essa ci fa conoscere che le forze centrifughe, o i pesi sollevati da cui sono rappresentate, stanno come 10 : 4, il qual rapporto è prossimamente l'inverso dei quadrati dei raggi vettori 2 e 3 $^1/_6$. Dunque *le forze centrali stanno in ragione reciproca dei quadrati delle distanze*; o all'inverso, se le forze hanno questo rapporto, *i quadrati dei tempi periodici sono come i cubi dei raggi vettori*.—Questa verità si è veduto essere una conseguenza della dottrina delle forze centrali (§. 353).

362. Le leggi esposte non solo sono di uso continuo nella meccanica razionale, ma si applicano eziandio alla spiegazione di parecchi effetti nella meccanica usuale, nell'industria e nei lavori comuni, come pure a dar ragione di parecchi fenomeni della natura.

Nelle cavallerizze lo scudiere, addestra il cavallo tenendolo con una fune ed esercitando un certo sforzo, che in parte bilancia la forza centrifuga generata in quel animale dal moto di circolazione e contribuisce così a lasciarlo meno inclinare di quando si move liberamente in un circo (§. 349).

Le carrozze e le vetture nelle voltate provano gli effetti della forza

centrifuga, la quale può essere abbastanza grande da rovesciarle. Se la curva nella voltata ha un raggio corto, la carrozza, conservando la stessa velocità, corre maggior pericolo di ribaltare per essere in tal caso la forza centrifuga in ragion inversa del raggio vettore (§. 351). Il pericolo diventa ancor più grande se nella voltata si accelera il moto, per la ragione che la forza centrifuga si accresce in ragione del quadrato della velocità (§. 351). I cocchieri prudenti rallentano il moto e fanno le voltate per curve sviluppate col maggior raggio possibile. Le persone, che siedono in carrozza, devono procurare in tali casi di radunarsi verso il centro di rivolgimento, allo scopo di cambiare posizione al centro di gravità e tenere la risultante delle due forze, centrifuga e gravità, entro la base di sostenimento. Nella corsa delle bighe, fatta per feste pubbliche negli anfiteatri, l'auriga per non essere rovesciato, prende appunto una tale precauzione.

Sulle strade ferrate, percorse dalla locomotiva con una rapidissima velocità, la forza centrifuga diverrebbe pericolosa se non si facessero le voltate con curvatura di 500 e più metri di raggio.

363. Il pericolo di rovesciare alle carrozze ed alle vetture diventa maggiore, quando esse percorrono vie colme nel mezzo e si trovano inclinate verso la parte opposta al centro di rivolgimento. La carrozza, che trascorre sul mezzo della strada (fig. 81), conserva la direzione della gravità CG sull'asse di euritmia (§. 290), e questa forza e la centrifuga CF vengono ad avere la risultante CR, che non sorte dalla base di sostenimento. La carrozza, che si muove sul pendio della strada, non ha il centro di gravità G sull'asse d'euritmia *cG*, ma piega dalla stessa parte per dove si genera la forza centrifuga *cf*, per cui la risultante *cr* sorte facilmente dalla base e rende inevitabile il rovesciamento. Egli è per tale ragione che le strade nelle voltate non dovrebbero essere colme nel mezzo. Gl'ingegneri avveduti procurano di dare alla superficie delle strade una sola inclinazione verso il centro di curvatura. Le ruote a razze inclinate riescono utili anche per impedire il rovesciamento in causa della forza centrifuga.

364. La dottrina delle forze centrali ci serve di guida per comprendere molti altri effetti del movimento curvilineo. Le ruote delle carrozze e dei carri, che trascorrono sopra un terreno fangoso ed umido, producono nelle loro rivoluzioni una forza centrifuga, per la quale il fango, aderente alla loro periferia, si distacca e fugge lungo la tangente della curva. La mola dell'arrotino, per la stessa cagione,

slancia a distanza l'acqua, da cui è di continuo bagnata. Quando la mola pescasse nell'acqua contenuta in una sottoposta vaschetta, quel liquido verrebbe in quel modo levato dal recipiente, che ben presto sarebbe vuotato. Di contro alla periferia delle ruote di certa foggia di carrozze di lusso si colloca una larga banda circolare, detta *parafango*, che arresta il fango, che altrimenti andrebbe a lordare la cassa della carrozza e ben anche i viaggiatori in essa seduti.

La funicella della frombola è tanto più tesa, quanto è più grande il moto di rotazione. Il vantaggio che si ha dalla frombola poi si è d'imprimere alla pietra una velocità, che aumenta colla radice del raggio vettore, e riesce molto più grande di quella, che le si potrebbe comunicare lanciata colla sola mano.

365. Le girandole e tutti i fuochi artificiali, che si muovono intorno ad un centro, schizzano, per la direzione delle tangenti, all'ingiro le faville di fuoco o le sostanze infiammate ad una distanza tanto più grande quanto più si accresce il moto di rotazione. Per tal modo i fuochi pirotecnici di questa specie riescono più belli e si estendono in una zona più ampia di quella, che formerebbero ardendo senza moversi circolarmente.

È appunto per la stessa causa che una scopa, previamente imbevuta di acqua, tenuta pel manico e fatta girare rapidamente intorno ad un centro, spande quel liquido all'intorno, e in tal maniera è spogliata dell'acqua e si asciuga. Questo esperimento si vede posto in pratica da tutti gli animali lanuti quando, pel tempo piovoso o per altra causa, hanno il loro corpo inumidito. Essi imprimono un celere movimento di rotazione intorno all'asse del loro corpo, e proiettano così l'acqua a distanza nella direzione delle tangenti dai punti della curva di quel movimento.

366. La machina *idroestrattore*, per asciugare i tessuti e le stoffe imaginata nell'industria, è un'applicazione del principio su esposto. I mezzi comuni per levare l'acqua dai tessuti e dai filati, sono, oltre il calore, la *sgocciolatura* in cui si stendono all'aria libera quei prodotti manifatturieri per lasciare da essi cadere a gocce l'acqua ed evaporare nello spazio; il *torcimento* a forza di braccia, e la *compressione* fra due cilindri per ispremere fuori nei due casi l'acqua. Tutti questi metodi sono soggetti a parecchi inconvenienti, i quali non si riscontrano nell'idroestrattore, fondato sulla forza centrifuga. I tessuti e i filati bagnati si mettono in una palla cava, munita d'un gran numero di fori. A questa palla si fa concepire dalla machina un

rapidissimo moto di rotazione sul suo asse, con cui vengono liberati dall'acqua gli oggetti in essa rinchiusi (1).

367. Si obblighi un vaso pieno d'acqua sopra una ruota orizzontale, in modo che il suo asse verticale corrisponda al centro della ruota: mettendo in circolazione la ruota, la superficie del liquido da piana si fa concava, e l'acqua, in virtù della forza centrifuga, si accumula verso l'orlo del vaso in maggiore quantità quanto è più rapido il movimento e giunge a debordare dal vaso medesimo. Se sul piano orizzontale della ruota si collocano alcuni corpi solidi, questi nella rotazione sono ben tosto lanciati a distanza dalla forza centrifuga che ne nasce.

Questo principio è stato applicato nei mulini comuni da grano. Il grano, che discende dalla tramoggia, entra nello spazio interposto fra le due macine, l'una delle quali pel suo celere moto rotatorio lancia il grano verso la periferia, dove, trovando uno spazio più ristretto, viene infranto e ridotto in farina.

368. Se un uomo, sulla macina posta in circolazione, si adraiasse nella direzione dei raggi della medesima colla testa rivolta verso la periferia, proverebbe ben tosto uno stordimento e morirebbe d'apoplessia, perchè il sangue, in virtù della forza centrifuga, sarebbe arrestato nel suo corso e spinto ben anche verso la testa, esercitando una pressione sul cervello.—Se all'estremità d'una funicella si attacchi pei piedi un coniglio, e tenendo per l'altra estremità la funicella, si faccia esso girare rapidamente, si produce nell'animale per la stessa causa uno stordimento ed anche la morte.

Nell'*altalena* ed in altri somiglianti giuochi vi sarebbe pericolo di quell'effetto, se la posizione del corpo non ovviasse agli inconvenienti della forza centrifuga, che si genera nel descrivere alternativamente archi circolari con più o meno celerità.

369. Il *palèo*, la *trottola*, il *girello* presentano altrettanti esempi dell'azione della forza centrifuga. La forza centrifuga, che si genera in tutte le parti equabilmente intorno al loro asse di rotazione, serve a tenerli verticali sinchè dura quel moto. Se la materia non fosse uniformemente distribuita intorno a quell'asse, od avesse in qualche parte diversa densità, le forze centrifughe all'intorno del medesimo non riuscirebbero eguali ed opposte, e prevalerebbero dal lato della

(1) Si vegga per tale machina gli *Annali di fisica, chimica, ecc.*, di Majocchi, tom. II, pag. 331.

maggior massa, per cui ben presto cadrebbero e cesserebbero di girare.

Il *prendipalla*, detto dai Francesi *billebouquet*, è un trastullo del genere dei su accennati. La palla gettata in alto, si rovescierebbe nel cadere e si disporrebbe senza la rotazione col suo foro verso l'alto, per cui essa non potrebbe essere ricevuta per quel foro nella punta, con cui si deve prendere.

370. Il contadino *vaglia* e *sventola* il grano sull'aia, per ispogliarlo dai minuzzoli di paglia, dalle bucce e dalle materie terree, con cui è mescolato, secondo i principii della forza centrifuga. Nell'imprimere colla pala al grano un movimento di rotazione, le pietruzze, come più dense, concepiscono la maggior forza centrifuga e si radunano nella periferia più distante dal centro; mentre il grano meno denso di quelle materie si dispone in una periferia meno distante, e infine le bucce e le sostanze poco pesanti si mettono nella periferia più vicina, come quelle che nel moto di rotazione acquistano la minor forza centrifuga.

Per la stessa legge delle forze centrifughe in ragione delle masse, tutte le materie galleggianti sopra l'acqua dotata d'un moto verticoso, come nei *gorghi*, si riuniscono nel centro del gorgo stesso formando un ammasso più o meno grande sull'acqua medesima. Si suole perciò evitare nella navigazione tutti i luoghi, dove si manifestano radunate materie galleggianti; giacchè esse sono quasi sempre un indizio del gorgo o del moto verticoso dell'acqua, che potrebbe far pericolare il naviglio. Cariddi nel Mediterraneo e il gran gorgo della costa della Norvegia *Mahlstrom* ne presentano degli esempi.

371. Il martello, la scure, l'ascia ed altri somiglianti strumenti si distaccano talvolta dal loro manico in virtù della forza centrifuga, che si genera quando si adoperano facendo loro descrivere con più o meno celerità un arco di cerchio. La pesante ruota di pietra del così detto *torchio ad olio*, nel percorrere in posizione verticale una zona circolare per ischiacciare e stritolare le materie che su questa sono disposte, può istaccarsi nell'egual modo dall'asse orizzontale da cui è trattenuta in quella posizione.

I quarti delle ruote concepiscono nel moto di rivoluzione una forza centrifuga, per la quale sarebbero distaccati dal rimanente della ruota, se non fossero ritenuti da chiodi e chiavelli e circondati nella loro periferia da cerchi di ferro.

372. La colonna di mercurio o di alcoole nei tubi capillari dei termometri è talvolta divisa in parecchie parti, che gli urti e le

scosse non valgono a congiungere, ma che si riuniscono imprimendo allo strumento un moto di rotazione al bulbo posto verso la parte più distante dal centro.

Prendendo pel manico un secchio contenente dell'acqua, si può imprimere al medesimo un moto di rotazione tale che, giunto il recipiente al colmo dell'arco superiore, il liquido non cada pel proprio peso, il quale viene equilibrato dalla forza centrifuga nata nella rivoluzione.

Appesa una molla da caminetto ad una fune attaccata ad un punto fisso e previamente ritorta, la fune nello svolgersi imprime alla molla un moto di rotazione, pel quale nasce la forza centrifuga che discosta le branche della molla e le solleva descrivendo un arco. Questa sperienza presenta un'idea del *regolatore* che s'impiega nelle machine a vapore e nelle ruote idrauliche.

373. Per pulire le palle e i pallini di piombo dalle ineguaglianze che conservano quando si levano dalle forme dopo il getto, le arti fanno uso di barili o cilindri cavi girevoli intorno al loro asse. Questi cilindri bisogna che siano abbastanza solidi da resistere al peso del piombo e della forza centrifuga nata nella rivoluzione, la quale è in ragione del quadrato della velocità con cui circola il barile (§. 344). Lo stesso si dica di somiglianti machine, che si adoprano per levare la ruggine alle palle da cannone e per granulare la polvere da fucile con palle di rame, che si fanno girare assieme ad essa; come pure dell'idroestrattore, di cui si è superiormente parlato (§. 366).

In queste machine le palle, ruotando nel cilindro, non acquistano tutte l'egual forza centrifuga, giacchè non tutte circolano col medesimo raggio vettore, sapendosi che, nel caso di tempi periodici eguali, le forze centrifughe seguono la ragione diretta dei raggi vettori (§. 357), ed è per ciò che le pareti del cilindro proveranno una maggiore pressione dalle palle, che sono maggiormente distanti dall'asse di rotazione.

374. Un globo, che ruota attorno al proprio asse, concepisce per le particelle situate alla superficie delle forze centrifughe differenti, secondo che esse sono più o meno distanti dall'asse medesimo. Le parti situate all'equatore circolano con un raggio vettore eguale a quello del globo; mentre le altre, a misura che si avvicinano vieppiù ai poli, hanno raggi vettori sempre più piccoli. Il pianeta che abitiamo è un globo, il quale ha un movimento di rotazione intorno al proprio asse, per cui i corpi posti alla sua superficie acquistano una

forza centrifuga, la quale varia secondo le diverse situazioni che hanno sul medesimo. È facile a dimostrare colla geometria che *le forze centrifughe, nate nei diversi punti d'un globo che ruota intorno al proprio asse, seguono la ragione dei coseni degli angoli di latitudine* (1).

La gravità dunque, per la rotazione del globo terrestre, sarà contrariata dalla forza centrifuga, e questo contrasto sarà massimo all'equatore, andrà scemando allontanandosi da esso, finchè ai poli riescirà nullo. Egli è appunto per ciò che la gravità riesce massima ai poli e minima all'equatore terrestre (§. 124). Si dimostra egualmente che *le diminuzioni della gravità nei diversi luoghi della terra sono come i quadrati dei coseni dei rispettivi angoli di latitudine* (2).

375. Alla forza centrifuga si attribuisce lo schiacciamento che il globo terrestre ha subito ai poli nei primordi della creazione (§. 120), quando cioè le diverse particelle di materia, di cui è formata la sua massa, non erano così strettamente collegate per mezzo della forza di coesione. Si calcola che, per la rotazione del globo terrestre, gli abitanti situati all'equatore sono trasportati da occidente verso oriente con una velocità 400 volte più grande di quella d'un pedone, che cammini al passo ordinario.

Per mostrare come un globo, formato di materia cedevole, possa subire uno schiacciamento nel ruotare intorno al proprio asse, s'istituisce nelle scuole l'esperienza seguente: si ha una sfera formata con bande elastiche di metallo ed attraversata da un asse mobile sopra due sostegni. Ad un'estremità dell'asse le bande elastiche possono trascorrere sul medesimo, mentre dall'estremità opposta vi stanno fisse. L'asse è impiantato nel centro d'una rotella, sulla cui periferia si avvolge una fune continua, che passa sopra una ruota di maggior diametro. Facendo girare con un manubrio quest'ultima ruota, il moto rotatorio si comunica alla sfera elastica, la quale, per la forza centrifuga concepita dalle sue parti, si schiaccia, scorrendo le bande dalla parte mobile sull'asse. Le bande nel trascorrere sull'asse spingono un corsoio di cuojo, che misura, colla distanza cui viene spinto, la quantità di schiacciamento subito dalla sfera nella rotazione.

376. Essendo, per la massa $m=1$, la forza centrifuga $\varphi=\frac{4\pi^2 r}{t^2}$ (§. 352), e sapendosi che il raggio equatoriale della terra r

(1) Si vegga la mia *Fisica popolare*, tom. I, pag. 681.

(2) La stessa nel tomo citato, pag. 683.

è di metri 6376600, mentre il tempo periodico della circolazione t =86164 secondi di tempo medio; si avrà colle opportune sostituzioni per la velocità iniziale della forza centrifuga all' equatore φ =0,0339078, vale a dire che la velocità iniziale è quasi di 34 millimetri, che andrà a scapito della gravità.

La diminuzione x, in qualunque parallelo della nostra terra ossia a qualunque latitudine a, essendo espressa da $x=\varphi$. cos.^2a, avrà per valore x=0,0339078. co.^2a. I paesi dell'alta Italia sono posti ad un dipresso alla latitudine media di 45°, dove cos.^2a=0,5, per cui la diminuzione in essi della gravità sarebbe x=0,0169639.

377. Le osservazioni istituite all'equatore intorno alla caduta dei gravi o, per dir vero, intorno alle oscillazioni del pendolo le quali hanno un'interna relazione colla gravità, somministrano che i gravi cadenti verticalmente acquistano la velocità iniziale di met. 0,7808. A questa velocità iniziale aggiunta la diminuzione di 0,034, che deve aver subito in virtù della forza centrifuga, si avrebbe per risultato met. 9,8148, che esprimerebbero la velocità iniziale della gravità ai poli, dove non ha veruna influenza la forza centrifuga. Ma per lo schiacciamento della terra la si riduce in quel luogo a 9,8312 (§. 246). La gravità all'equatore e quella ai poli starebbero dunque prossimamente nel rapporto di 110 : 111.

Dividendo ora la gravità totale 9,8148 per la forza centrifuga all'equatore 0,0339, si ottiene per quoziente prossimo il numero 289: il che dimostra che all'equatore la forza centrifuga è $^1/_{289}$ di quella di gravità. Siccome poi la forza centrifuga è in ragion inversa dei quadrati dei tempi periodici, poste eguali tutte le altre circostanze (§. 360), e siccome il numero 289 è il quadrato di 17; così ne viene che, quando la rotazione del globo terrestre si compiesse in $^1/_{17}$ del tempo attualmente impiegato, allora la forza centrifuga diventerebbe 289 volte più grande ed eguaglierebbe quella di gravità.

378. Nelle grandi estensioni dei mari e dell'Oceano le acque dovrebbero mettersi a livello, ossia colla loro superficie concentrica al globo stesso. La forza centrifuga però, risultante dalla rotazione della terra, si oppone incessantemente alla gravità, e la superficie delle acque si dispone normalmente alla risultante di quelle due forze facendosi più rilevata nelle parti verso l'equatore che in quelle verso i poli.

379. Le forze centrifughe sono in ragione diretta delle masse quando siano eguali i raggi vettori e le velocità (§. 356): ma quando

quest'ultime fossero disuguali, seguendo le forze medesime anche la ragione diretta dei quadrati delle velocità (§. 360), potrebbe benissimo accadere che un corpo, quantunque di minor massa, possedesse una maggior forza centrifuga d'un altro in causa della velocità più grande di circolazione, di cui è dotato. I *turbini di vento*, le *trombe di terra e di mare*, che sollevano nel loro asse di rotazione la polvere, l'arena, l'acqua ed anche corpi solidi molto pesanti, ce ne forniscono degli esempi.

Dal fenomeno del turbine Cartesio dedusse l'*ipotesi dei vortici*, con cui intese di spiegare l'attrazione terrestre ed astronomica. Facendo rotare intorno all'asse un globo di vetro pieno d'acqua, sulla quale galleggiano dei pezzetti di sovero o dell'olio, queste materie, come meno dense dell'acqua, concepiscono minor forza centrifuga delle molecole di quel liquido, e si portano nella direzione dell'asse e non al centro del globo. Si è fatto concepire al globo due moti di rotazione, l'uno normale all'altro; ma quelle materie meno pesanti si radunano nella direzione dell'asse, che ha maggiore velocità.

380. La forza centrifuga si è applicata alla costruzione di machine idrauliche, di ventilatori, di soffietti e simili. Tutti questi apparati sono fondati sul principio seguente: imprimendo un moto di rotazione ad una capacità qualunque, entro cui è contenuto un fluido, questo concepisce una forza centrifuga, per la quale è obbligato ad allontanarsi dall'asse ed a sortire da quella capacità per l'apertura che gli si presenta. Al fluido, in tal modo sfuggito per la parte superiore della machina, ne subentra del nuovo con cui trovasi in comunicazione, e s'innalza ben anche ad una certa altezza e per la continuata azione della forza centrifuga sfugge alla sua volta. In tal modo si ha una corrente di fluido, che produce l'effetto delle machine su citate.

La dottrina delle forze centrali serve altresì a dirigere la costruzione delle machine, nelle quali vi abbiano ruote dentate che girano con grande velocità, e principalmente a far conoscere il modo d'azione dei *volanti*, destinati a moderare ed a regolare il movimento, di cui parleremo nella fisica particolare dei solidi.

381. Abbiamo già detto che la gravitazione e la gravità combinate con una forza impressa presentano in natura degli esempi del moto curvilineo (§. 340). La luna, gettata sin dal tempo della creazione nello spazio con una forza impressa, si è trovata sotto l'azione continua dell'attrazione terrestre; e per l'azione simultanea delle due forze essa si muove intorno al nostro globo. Egli è in tal modo che

la terra e gli altri pianeti si muovono intorno al sole. I movimenti degli astri intorno a quello primario, non si fanno per traiettorie circolari come quelli sinora considerati, ma per orbite elittiche, nel fuoco delle quali risiede l'astro, che colla sua gravitazione obbliga a rivolgersi attorno di sè il corpo celeste (§. 129).

Nel movimento dei pianeti intorno al sole e della luna intorno alla terra, vi ha la forza tangenziale nella direzione della freccia T (fig. 82), che sollecita il pianeta P a moversi in linea retta; ma nello stesso tempo il sole, situato in F, per la sua attrazione continuata tira il pianeta verso il fuoco F dell'elisse, e gl'imprime ad ogni istante un moto nella direzione della freccia C. Se la forza centrale C fosse perpendicolare a quella tangenziale T' e le due forze avessero il rapporto conveniente, allora il pianeta P percorrerebbe un circolo attorno al sole (§. 344). Vi hanno delle posizioni ove la forza tangenziale è un poco più grande di quanto richieda il rapporto succitato; ed allora la terra si allontana dal sole. In questo allontanamento le direzioni delle due forze si fanno oblique fra loro e la forza centrale si oppone in tale situazione di più alla tangenziale e la diminuisce; talchè giunge ad un punto in cui la prima predomina la seconda ed avvicina di nuovo l'astro al centro di movimento. È appunto in tal maniera che si muovono gli astri secondari per orbite elittiche intorno all'astro primario, che risiede nel fuoco dell'elisse stessa.,

Il punto *d*, che più d'ogni altro è distante dal centro F di movimento, chiamasi *afelio*, mentre il punto D, che è il più vicino, dicesi *perielio*. La retta DF*d*, che dal perielio passa pel centro F e giunge all'afelio, prende il nome di *linea degli apsidi*. I pianeti nel moversi per orbite elittiche intorno al sole vengono ad avere la loro massima e minima velocità sulla linea degli apsidi; la prima nel perielio e la seconda nell'afelio. La velocità dunque va crescendo dall'afelio al perielio, ed all'inverso va decrescendo dal perielio all'afelio.

Colla geometria poi si dimostra che *le velocità effettive, nei diversi punti della traiettoria, sono in ragione inversa delle normali condotte dal centro di movimento sulle tangenti alla curva nei punti medesimi*; mentre *le velocità angolari seguono la ragione inversa dei quadrati dei raggi vettori*.

382. Nel caso della traiettoria circolare si è trovato per un punto materiale la forza centrale $\varphi = \frac{v^2}{r}$ (§. 344). Per l' elisse si trova un' espressione analoga. Primieramente osserveremo che di qua-

lunque arco d'una traiettoria si misura la curvatura mediante un cerchio, colla periferia del quale si confonde l'arco medesimo. Questo circolo è appunto quello che chiamasi *cerchio osculatore*. D'un tal cerchio si determina il centro con metodi geometrici, e quindi la posizione del suo raggio per rispetto ad un punto comune alla periferia ed all'arco della traiettoria. Conoscendosi la posizione di questo raggio, si conosce eziandio l'angolo che il medesimo in quel punto comune fa col raggio vettore della traiettoria. Se quest'angolo chiamisi w e per r intendasi il raggio del cerchio osculatore, si trova che, in ogni punto della traiettoria, un elemento materiale è dotato della forza centrale $\varphi = \frac{v^2}{r.\cos^2 w}$. Nella traiettoria circolare, il raggio del cerchio osculatore coincide con quello vettore della curva, per cui l'angolo $w = 0$ e $\cos. w = 1$, e risulta l'equazione già trovata (§. 344).

Con considerazioni geometriche poi si dimostra che anche nelle traiettorie elittiche *le forze motrici* o *le attrazioni del sole per lo stesso pianeta, sono nella ragion inversa dei quadrati delle distanze.*

383. La terra colla sua attrazione fa descrivere alla luna un'orbita elittica. L'attrazione nei diversi punti dell'orbita è in ragione inversa del quadrato delle distanze. Ma se l'attrazione terrestre, per le piccole distanze del corpo su cui essa si esercita, potesse considerarsi come costante, come è dei corpi che trovansi vicini alla superficie del globo, allora la curva descritta da questi corpi lanciati non verticalmente non è rientrante in se stessa, dimostrandosi colla geometria essere una parabola. Questa curva è formata di due rami euritmeticamente disposti intorno ad un asse e tra loro divergenti: una palla e qualunque altro proiettile, lanciato non verticalmente, percorrerebbe nel suo moto la parabola ABC (fig. 83). La resistenza dell'aria si oppone al movimento del proiettile e diminuisce un poco lo spazio rinchiuso dai due rami della curva. Per essa la traiettoria si schiaccia, ed invece della vera parabola ABC il grave descrive la curva ADG.

384. Non tenendo conto della resistenza dell'aria, una palla di cannone o di fucile, lanciata parallelamente ad un piano orizzontale, giungerà al suolo, descrivendo la parabola, nel medesimo tempo d'una palla che si lasciasse cadere dalla bocca del cannone nell'istante stesso della partenza della prima. Imperciocchè in questo caso la forza di gravità, per essere normale a quella di proiezione, non verrebbe a contrasto diretto con quest'ultima. Una tale verità

dimostra evidentemente la grande velocità con cui si muove la palla, la quale percorre 300 in 350 metri nel medesimo tempo che per caduta libera discenderebbe dall'altezza d'una persona. Si apprende altresì la ragione per cui l'artigliere dirige il tiro più o meno verso l'alto per dare al proiettile maggior portata, e il cacciatore ha sulla canna del fucile la *mira*, secondo cui dirige la visuale verso la preda, mentre la canna stessa è rivolta più in alto perchè il proiettile nell'abbassarsi viene a colpire lo scopo prefisso.

385. Una palla di cannone lanciata orizzontalmente dalla sommità D d'un altissimo monte (fig. 84) andrebbe a cadere alla distanza di alcuni chilometri sul terreno sottoposto. Se l'aria non opponesse ostacolo al movimento o se la sommità del monte si elevasse al di sopra dei limiti dell'atmosfera, la medesima forza di proiezione porterebbe la palla in A alla distanza di 50 in 60 chilometri; una forza d'impulsione maggiore la lancerebbe in B. Aumentando vieppiù la forza impellente, il proiettile si avanzerebbe ancor più e verrebbe a cadere in C, finchè la forza fosse portata ad un grado tale da imprimere alla palla una velocità tangenziale, per cui non potesse avvicinarsi alla terra ad una distanza minore di quella cui si trovava al momento della sua partenza e giungesse di nuovo in D donde ha incominciato a moversi. Non essendo diminuita la velocità, la palla percorrerebbe per la seconda volta il primitivo cammino, poscia per la terza e così di seguito. Sarebbe per tal modo trasformata in un piccolo satellite, in un vero corpo planetario, che si rivolgerebbe all'intorno della terra al pari della luna.

Le differenti distanze, cui viene lanciata la palla, mostrano che, a misura che cresce la forza tangenziale prodotta dalla proiezione, la forza centrifuga cresce del pari e ciò nel rapporto del quadrato di quella forza (§. 344); sinchè la forza centrifuga stessa giunge a tale grandezza da bilanciare quella di gravità, come avviene nell'ultimo degli esempi addotti. Se la forza di proiezione si accrescesse al punto da dar nascimento ad una forza centrifuga maggiore di quella di gravità, il proiettile si allontanerebbe dal centro della terra con tutta la forza eccedente, ed aumentando la sua distanza dalla terra esso percorrerebbe una traiettoria eccentrica assai simile a quella delle comete. Non è improbabile che masse somiglianti si muovano in tal modo al disopra dell'atmosfera, e per la loro picciolezza non siano visibili al nostro occhio armato ben anche dei più potenti telescopii.

386. L'arte di lanciare proiettili o l'arte dell'artigliere dipende

da certi principii scientifici che costituiscono la *balistica*, che ha per iscopo di determinare le condizioni necessarie per lanciare il proiettile ad una data distanza e colpire dati punti.

Rappresenti AN (fig. 85) la forza di projezione o lo spazio che descriverebbe il mobile nel tempo t; mentre nell'egual tempo, in virtù dell'azione della gravità, esso percorrerebbe lo spazio AQ. Chiamando v la velocità di projezione, sarà $AN=vt$ (§. 221), ed $AQ=\frac{gt^2}{2}$ (§. 241). Sia AMC la curva percorsa dal grave in virtù delle due forze, e dal punto Q si conduca la QM parallela ad AN: il punto M avrà per ordinata $AN=QM$, che dinoteremo b e per ascissa AQ, che diremo d. Nelle due equazioni superiori, ponendo le nuove denominazioni, si avrà $b=vt$, $d=\frac{gt^2}{2}$, eliminando t si ha $\frac{b}{v}=\sqrt{\frac{2d}{g}}$, ossia $b^2=\frac{2v^2}{g}.d$. Se chiamasi a l'altezza debita alla velocità di projezione v, si avrà $v^2=2ga$ (§. 241), per cui $b^2=4ad$ che è l'equazione della parabola, il cui parametro è espresso da $4a$ *e le ascisse d sono come i quadrati delle ordinate b.*

Nelle scuole si rende chiara la proprietà, che caratterizza la trajettoria percorsa da un corpo soggetto ad una forza di projezione ed alla gravità, mediante uno sperimento istituito coll'*apparato pel moto parabolico* dei gravi. Sopra un basamento PQ (fig. 86), munito agli angoli di piedi a vite per disporlo orizzontalmente, s'innalza verticalmente un corpo prismatico ABD, nel quale è intagliato un canale curvilineo AB. Una palla d'avorio, discendendo per questo canale, giunge al punto infimo B fornita d'una velocità debita all'altezza da cui è caduta (§. 333); la quale velocità resta impressa alla palla nella direzione della retta orizzontale tangente al canale curvilineo nel punto B. La palla, giunta in B, è soggetta a questa velocità impressa ed all'intera sua gravità, e il mobile in virtù dell'azione simultanea delle due forze giunge da B in E descrivendo una parabola.

Infatti, sull'assicella verticale BCED è descritta una tale curva, nella quale le ascisse corrispondenti alle linee segnate 1, 4, 9 sono come i quadrati delle ordinate relative ai numeri I, II, III. Ora per mostrare che la palla percorre quella curva, vi sono infissi, ai punti determinati da quelle coordinate, due anelli di diametro maggiore di quello della palla, la quale, partendo da B colla velocità impressa,

passa per gli anelli e cade nel punto E descrivendo in tal modo la parabola, che ha appunto le ascisse come i quadrati delle ordinate.

387. Per ottenere un'equazione facile ad essere applicata nella balistica, riferiamo la curva ai due assi rettangolari AC, AB (fig. 85), per cui il punto M avrà AP per ascissa e PM per ordinata. Rappresentiamo AP con x e PM con y, e sia inoltre p la tangente dell'angolo di projezione CAN. Dal triangolo rettangolo APN si ha PN : x : : p : 1, donde PN$=px$. Si osservi che

$\overline{AN}^2=\overline{AP}^2+\overline{PN}^2$ ed MN=PN—PM; donde, sostituendo le denominazioni ed i valori corrispondenti, si ricava
$b^2=x^2+p^2x^2$ e $d=px-y$. Ponendo questi valori nell'equazione precedente, $b^2=4ad$, della trajettoria riferita agli assi obliqui, essa si trasforma per gli assi rettangolari in quest'altra
$x^2+p^2x^2=4a(px-y)$, la quale si riduce ad $(1+p^2)x^2=4a(px-y)$, ed è l'equazione di cui si fa uso nella balistica.

388. Chiamasi *ampiezza* o *portata* la distanza orizzontale, cui giunge il projettile, ossia l'intervallo orizzontale AC che passa fra il punto di partenza e quello di caduta. Il punto M di massima elevazione del projettile appellasi *punto culminante*, e la verticale MP, condotta dal punto culminante sull'orizzontale AC, chiamasi *altezza del tiro*.

Sciolta l'equazione precedente per rispetto a p, si ottiene

$p=\frac{2a\pm\sqrt{(4a^2-4ay-x)}}{x}$. La tangente p ha dunque due differenti valori, ed è per ciò che si può colpire il bersaglio disponendo il pezzo d'artiglieria sotto due differenti angoli di projezione. Si fa uso dell'angolo minore per le palle dirette a far breccia nelle mura della fortezza, e dell'angolo maggiore per le bombe da sfondare tetti e volte. Nella prima disposizione il projettile descrive la parabola più bassa e più ottusa, colla seconda esso percorre la parabola più elevata e più acuta.

Quando lo scopo da essere colpito fosse situato nello stesso piano orizzontale condotto pel punto di partenza, allora diventa $y=o$, ed il valore della tangente dell'angolo di projezione si riduce a

$p=\frac{2a\pm\sqrt{(4a^2-x^2)}}{x}$; che se lo scopo sia più basso di quel piano, l'ordinata diventa negativa e la formola superiore si modifica in quest'altra $p=\frac{2a\pm\sqrt{(4a^2+4ay-x^2)}}{x}$.

389. Per avere la portata corrispondente ad una data velocità impressa e ad inclinazione parimenti data, si noti che in quel caso è $y=o$ e l'equazione si riduce a $(1+p^2)x^2=4apx$, da cui si hanno due valori, l'uno è $x=o$ e l'altro è $x=\frac{4ap}{1+p^2}$. Il primo valore di x dà la posizione del punto di partenza, dove anche l'ascissa è zero, e l'altro dà la portata del tiro.

Se alla tangente p dell'angolo di projezione α si sostituisca l'espressione equivalente $\frac{\text{sen.}\alpha}{\cos.\alpha}$, si ha l'ampiezza $x=\frac{4a\ \text{sen.}\alpha.\ \cos.\alpha}{\text{sen.}^2\alpha+\cos.^2\alpha}$, ossia $x=4a\ \text{sen.}\alpha\cos.\alpha$ per essere il divisore uguale all'unità. Questo valore non cambia ponendo invece di α il complemento $90-\alpha$; giacchè in tal caso il seno si tramuta nel coseno ed all'inverso. L'angolo di projezione può essere dunque tanto α quanto $90-\alpha$ senza cambiare l'ampiezza del tiro, i quali due angoli sono egualmente distanti dal semiretto di 45°. Ne risulta dunque che *i projettili, lanciati colla medesima carica di polvere sotto angoli d'inclinazione equidistanti da 45°, hanno l'eguale portata.*

Dalla trigonometria si sa che $\text{sen.}\alpha.\ \cos.\alpha=\frac{1}{2}\ \text{sen.}2\alpha$, per cui sarà anche $x=2a\ \text{sen.}2\alpha$, dove facendo $\alpha=45°$ risulta $\text{sen.}2\alpha=1$, e quindi si ha $x=2a$, che sarà la massima ampiezza che si possa dare al tiro. Dunque *fra tutti i tiri fatti colla stessa forza di polvere, quello inclinato all'orizzonte di 45° dà la massima portata.*

390. L'altezza del tiro è determinata dalla verticale MP abbassata dal punto culminante sull'orizzontale AC, che passa pel punto di partenza. L'ascissa AP dell'ordinata MP è eguale alla metà dell'ampiezza $AC=4a\ \text{sen.}\alpha.\ \cos.\alpha$, ossia è $AP=2a\ \text{sen.}\alpha.\ \cos\alpha$. Nell'equazione generale superiore (§. 387), y diventa l'incognita ed è $x=2a\ \text{sen.}\alpha.\ \cos.\alpha$ e la tangente $p=\frac{\text{sen.}\alpha}{\cos.\alpha}$; si ha dunque dalla medesima $y=2a\ \text{sen.}^2\alpha-a\ \text{sen.}^2\alpha\ (\cos.^2\alpha+\text{sen}^2\alpha)$ da cui si ottiene $y=a\ \text{sen.}^2\alpha$, che esprime il valore dell'altezza MP. del tiro.

391. Interessa sovente di conoscere il tempo, che impiega il projettile a raggiungere un dato scopo, posto ad una determinata distanza orizzontale AP, essendo note le altre quantità. Dal triangolo rettangolo ANP si ha $AP=AN.\ \cos.\alpha$, ossia $d=vt.\ \cos.\alpha$, da cui si deduce $t=\frac{d}{v.\ \cos.\alpha}$. Si può anche sostituire a v l'espressione per

l'altezza debita ad essa velocità, ed in tal caso si ha $t=\frac{d}{\cos.\alpha\sqrt{2ga}}$.

Quando si voglia il tempo t, che impiega il projettile a raggiungere il punto culminante M, allora l'assissa d=AP ha per valore

$2a\text{sen}.\alpha.\cos.\alpha$ (§. 389); sarà quindi $t=\frac{2a\text{sen}.\alpha}{\sqrt{2ga}}$ ossia $t=\frac{v.\text{sen}.\alpha}{g}$.

Infine pel tempo t, impiegato dal projettile a percorrere l'intera ampiezza AC della trajettoria, l'ascissa AP diventa AC$=d=4a\text{sen}.\alpha.\cos.\alpha$ (§. 388). Sostituendo questo valore, risulta

$t=\frac{4a\text{sen}.\alpha}{\sqrt{2ga}}$, ossia $t=\frac{2v.\text{sen}.\alpha}{g}$. Da ciò si apprende che il tempo

$\frac{v.\text{sen}.\alpha}{g}$, impiegato dal projettile nel percorrere ascendendo la metà della trajettoria per giungere al punto culminante, è eguale alla metà del tempo $\frac{2v.\text{sen}.\alpha}{g}$ necessario a descrivere l'intera curva; e per conseguenza il tempo, impiegato a salire con moto ritardato pel primo ramo della parabola, eguaglia esattamente quello necessario a discendere con moto accelerato pel secondo ramo della curva medesima.

392. Tutte le conseguenze, dedotte dalla teorica del moto dei projettili, suppongono che non vi sia l'ostacolo dell'aria, ed appunto per questo rimane schiacciata la parabola nei suoi rami, come si è altrove notato (§. 383). Nella pratica perciò si ricorre all'esperienza per valutare una tale resistenza e tutte le circostanze che alterano il movimento parabolico dei gravi lanciati dalle artiglierie. Si determina dapprima la portata cui giunge il tiro per una quantità determinata d'una data specie di polvere, e col risultato ottenuto in tali prove si corregge la formola che dà la portata teorica. Fatta la correzione in tal modo per ridurre in ogni caso le formole teoriche a regole pratiche, queste servono di norma all'artigliere per dirigere il tiro nelle diverse circostanze. Si scorge in tal modo come la teorica possa servire di guida alla pratica della balistica, e senza la prima non si giungerebbe nei diversi casi a conseguire l'esattezza del tiro.

393. Chiamasi *pendolo* un grave appeso all'estremità d'un filo o d'una verga, applicata per l'altra estremità ad un punto fisso, in

torno al quale può facilmente moversi. Prende esso il nome di *pendolo semplice* se il filo sia così sottile da poter essere considerato come nulla la sua gravità, ed il corpo appeso abbia tale densità e sì poco volume da poter le sue molecole essere ritenute alla medesima distanza dal punto fisso. Il *pendolo composto* si ha quando ad una verga o filo inflessibile siano appesi dei gravi a differenti altezze, oppure quando la verga abbia tale grossezza da essere considerata come la riunione di diversi gravi posti a differenti distanze dal punto di sostenimento. Rigorosamente parlando non si danno pendoli semplici, ma solo con molta approssimazione si possono considerare come tali.

Sia AC un pendolo semplice, che tiene appeso in C un grave (fig. 87) ed è attaccato al punto fisso A. Esso prenderà la direzione AC verticale; ma, rimosso da questa posizione e portato in B, esso discenderà dall'altezza BE descrivendo l'arco BC, e, giunto al punto infimo C, ascenderà per la velocità acquistata dalla parte opposta all'altezza DF=BE, percorrendo l'arco CD=BC (§. 335). Pervenuto il grave in D, avrà perduto tutta la velocità acquistata, e in virtù della gravità ritornerà a discendere per risalire ancora in B, da dove ha avuto incominciamento il primo moto. Questi movimenti di discesa e di ascesa si ripeteranno di nuovo nella stessa maniera, e continuerebbero indefinitamente se l'aria e l'attrito del punto di sostegno non opponessero un ostacolo e non diminuissero ogni volta il moto. Il moto alternativo, che prende quì il grave, si chiama *oscillazione del pendolo*. L'angolo BAC o l'arco BC, da cui è misurato, prende il nome di *angolo* o *d'arco di oscillazione* o *d'elevazione*. Il sito fisso dove è applicato il filo chiamasi *punto di sospensione*, e *centro d'oscillazione* del pendolo semplice è quello, dove si considera il grave come concentrato in un punto materiale. Il centro d'oscillazione del pendolo composto ha differente posizione, che impareremo a determinare più avanti. In ogni caso non bisogna confondere il centro di gravità col centro d'oscillazione, che sono ben differenti. La distanza infine del punto di sospensione dal centro di oscillazione è la *lunghezza del pendolo*.

La prima questione, che si presenta nel moto dei pendoli, è di riconoscere la velocità acquistata dal grave oscillando per archi differenti. Discendendo il pendolo da B e da O (fig. 87) giunge al punto infimo C con velocità che stanno come $\sqrt{MC} : \sqrt{NC}$, cioè $V : u :: \sqrt{MC} : \sqrt{NC}$ (§. 333). Ora si abbassino da B, O le normali BM, ON sulla verticale AC e si conducano le sottese BC, OC

agli archi d'oscillazione. Il triangolo BMC somministra $\overline{BC}^2=\overline{CM}^2+\overline{BM}^2$, e sostituendo al quadrato dell'ordinata BM il rettangolo delle ascisse, che gli è eguale per la proprietà del cerchio, s'ha

$\overline{BC}^2=\overline{MC}^2+CM\ (2AC-MC)$, ossia $\overline{BC}^2=2AC\times MC$. Per l'altro arco sarà del pari $\overline{OC}^2=2AC\times CN$. Perciò nella proporzione superiore, mettendo invece di MC, NC, i valori tratti dalle due ultime equazioni, si ha $V : u :: BC : OC$; cioè *le velocità d'un pendolo per due differenti archi d'oscillazione sono come le sottese agli archi medesimi.*

394. Ciò che più interessa di conoscere nel moto dei pendoli, si è il tempo ch'essi impiegano nel descrivere gli archi, essendosi questi ordigni impiegati con molto vantaggio a regolare l'andamento degli orologi ed a misurare lo stesso tempo. Se nell'oscillazione la gravità agisse sempre con egual vigore, ossia fosse continuata costante, allora i tempi seguirebbero durante tutto il moto un rapporto costante cogli spazi percorsi, cioè sarebbero come le radici degli spazi medesimi (§. 241). Ma la gravità, nell'oscillare il pendolo, varia al variar l'angolo BAC, per cui non si conserva costante durante il moto ed i tempi di discesa sono variabili.

Chiamando a l'angolo d'oscillazione BAC, e scomponendo la gravità assoluta AG nelle due forze BP, nella direzione del pendolo, e BT normale ad esso, è facile dimostrare che la BT, che fa oscillare il pendolo, eguaglia $g.$ sen.a; dove, variando ad ogni istante l'angolo a, varia del pari la forza acceleratrice, e quindi variano anche i tempi che impiega il mobile a percorrere determinati spazi.

Allorquando il pendolo oscilla per archi differenti di piccola estensione, si può ritenere con moltissima approssimazione ch'esso impiega l'egual tempo nel descriverli, ossia le sue oscillazioni sono isocrone. L'isocronismo del pendolo fu riconosciuto la prima volta da Galilei osservando le oscillazioni d'una lampada nel duomo di Pisa, e confermò poscia con considerazioni ed esperienze dirette, e cercò di valersi di esso per la misura del tempo. Huygens, molto tempo dopo, diede una rigorosa teorica del movimento pel pendolo, insegnando la maniera di applicarlo a regolare l'andamento degli orologi. La proprietà del pendolo, di fare per piccoli archi le oscillazioni isocrone, dipende dal confondersi gli archi circolari con quelli cicloidali, essendo questi ultimi dotati dell'isocronismo qualunque sia la loro grandezza (§. 337).

Il tempo per un'oscillazione dei piccoli archi si è trovato essere $T=\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, dove L dinota la lunghezza del pendolo. A rigore il secondo membro dell'equazione va moltiplicato per una serie, il cui primo termine è l'unità e gli altri sono piccole frazioni del seno verso dell'angolo di oscillazione e decrescono con molta rapidità, essendo la serie stessa moltissimo convergente. Talchè pei piccoli archi, negligentando tutte queste minimissime frazioni, rimane per moltiplicatore del secondo membro la sola unità, e quindi si verifica con grande approssimazione la relazione $T=\pi\frac{\sqrt{L}}{g}$.

395. La proprietà del pendolo d'avere le oscillazioni isocrone pei piccoli archi è di grande vantaggio alle arti ed alle scienze. Allorquando si mette in moto un pendolo e si abbandona a se medesimo, la resistenza dell'aria e l'attrito del punto o dell'asse di sospensione diminuiscono ben presto l'ampiezza delle oscillazioni, le quali per l'isocronismo si fanno ancora nell'egual tempo, e quindi quegli ostacoli non esercitano un'influenza sensibile sulla misura del tempo fatta dal pendolo.

Il peso d'un grave o l'elasticità d'una molla mette in movimento tutto il congegno degli orologi, e il moto, in virtù di quelle forze continuate, andrebbe accelerandosi se non venisse regolato e reso uniforme per mezzo del pendolo. A tal fine il pendolo AB è sospeso in A ad un sostegno fisso (fig. 88), o per mezzo di una laminetta elastica d'acciaio che si piega nelle oscillazioni, o mediante due punte d'acciaio ben temprato e di figura cuneiforme, appoggiate a pietre dure innestate nel sostegno medesimo. Alla verga del pendolo è solidamente connessa una specie di forchetta CD detta *àncora*, che costituisce la parte principale del congegno conosciuto sotto il nome di *scappamento*. L'àncora colle sue due estremità può imboccare coi denti della ruota EF detta d'*incontro*, infissa pel suo centro nell'asse, posto in moto dal grave o dalla molla unitamente a tutto il sistema delle ruote dell'orologio. Trovandosi il pendolo nella posizione verticale, l'àncora colla sua estremità C ritiene appoggiato un dente della ruota d'incontro ed impedisce ogni movimento dell'asse della ruota medesima. Ma se il pendolo si discosta dalla verticale verso C dove l'ancora è impegnata col dente della ruota, questa viene lasciata libera, sinchè dalla parte opposta incontra con altro dente.

l'estremità D dell'àncora. Per questo scappare del dente dall'estremità C, la ruota gira per un istante, e si arresta poscia coll'incontrarsi d'un altro dente verso l'estremità D. Il pendolo, discendendo poscia per compiere l'oscillazione, allontana dal dente l'estremità D e lascia libera la ruota per un secondo istante, sinchè ritorna ad incepparsi l'estremità C col dente seguente. Si ripete in tal modo lo stesso movimento alternativo, il quale è regolato dalle oscillazioni del pendolo. Questo poi, in virtù dello scontro che prova l'àncora coi denti della ruota, fa delle oscillazioni per archi d'egual ampiezza, e riescono per l'isocronismo d'egual durata, quand'anche venissero a variare per cause estranee ed accidentali. Se le oscillazioni si compiono in un secondo di tempo, l'asse della ruota si muove in virtù del pendolo sempre dell'egual intervallo e l'andamento dell'orologio riesce uniforme.

396. Si è dimostrato col ragionamento e coll'esperienza che la gravità fa cadere i corpi con l'eguale velocità qualunque sia la loro massa (§. 123), e questa verità si conferma mediante esperienze più facili ad essere istituite col pendolo. Newton ha verificato la legge scoperta da Galilei appunto col pendolo. Egli appendeva all'estremità di due fili d'egual lunghezza due masse eguali, che compievano le loro oscillazioni nell'egual tempo. Ad uno di essi appese successivamente corpi di differente densità e massa, e le oscillazioni si facevano ancora nell'egual tempo dell'altro pendolo. Se dunque nella formola $T = \pi \sqrt{\frac{L}{g}}$, che dà il valore del tempo T (§. 394), corrisponde sempre all'egual valore di L la stessa durata di T, qualunque sia la massa o la materia, di cui si compone il grave del pendolo, bisogna che il valore di g o la forza acceleratrice della gravità (§. 246) sia eguale per tutte le materie, e che quindi i corpi cadano tutti con l'egual velocità qualunque sia la loro massa, e che ciascuna molecola sia dotata della medesima forza di gravità.

397. Abbiamo veduto che il pendolo ha recato un grande perfezionamento agli orologi, ed esso forma per tal modo la base di quella scienza, che giunge a stabilire l'epoca delle operazioni dell'uomo a malgrado della variazione degli avvenimenti, e riporta le nostre osservazioni e le nostre azioni fugaci ai movimenti eterni ed alle dimensioni inalterabili della terra (§. 41), assicurando ai risultati ottenuti dalle umane imprese la sola immortalità che possono attendere.

Parecchi fisici ed astronomi si sono per ciò dedicati a misurare con diligenza scrupolosa la lunghezza del pendolo, che batte i secondi in un dato luogo della terra, servendosi a tal uopo di apparati ingegnosi per conseguire la maggior possibile esattezza. All'equatore la lunghezza del pendolo a secondi è di millimetri 994 ed alla latitudine media di 45° è di 993,5 millimetri, mentre allo Spitzberg posto alla latitudine di 79° 49′ 58″ risulta di 996 millimetri. Il pendolo dunque, portato dall'equatore sino a quasi 80 gradi di latitudine settentrionale, per fare le oscillazioni d'egual durata d'un secondo di tempo, deve avere un allungamento di oltre 5 millimetri. Le misure sono prese alla temperatura zero del termometro e ridotte tutte all'egual distanza dal centro terrestre, essendosi stabilito il livello del mare.

398. I risultamenti, ottenuti dalle osservazioni fatte sulla lunghezza del pendolo a secondi nei diversi luoghi della terra, sono stati sottoposti a calcolo, e si è trovato che il pendolo, il quale batte i secondi all'equatore, cioè fa 86400 oscillazioni in un giorno medio, venendo trasportato alla latitudine α ne compirebbe nello stesso tempo il numero n espresso dalla formola

$$n=86400\sqrt{(1+0{,}0051\,44889\,\mathrm{sen.}^2\alpha)}.$$

399. Dall'essere $T=\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, per un altro pendolo si avrà in generale $t=\pi\sqrt{\frac{L'}{g'}}$. Se i due pendoli sono posti nello stesso luogo della terra, risulta $g=g'$, e si ha $T : t :: \sqrt{L} : \sqrt{L'}$, ossia $L : L' :: T^2 : t^2$. Cioè *le durate delle oscillazioni nello stesso luogo sono come le radici quadrate delle lunghezze dei pendoli*, ossia *le lunghezze sono come i quadrati dei tempi d'una oscillazione.* In generale poi starà

$T : t :: \sqrt{\frac{L}{g}} : \sqrt{\frac{L'}{g'}}$, cioè *le durate d'oscillazioni di due pendoli seguono la ragion composta diretta dalle radici quadrate delle lunghezze e l'inversa delle radici quadrate delle forze acceleratrici.* Portando poi lo stesso pendolo in diversi luoghi della terra, allora

$L=L'$ e quindi $T : t :: \frac{1}{\sqrt{g}} : \frac{1}{\sqrt{g'}}$, cioè *le durate d'un'oscillazione in ragion inversa delle radici quadrate della gravità.* Inoltre quando si faccia $T=t$, si ha $g : g' :: L : L'$, cioè *le gravità in ragione delle*

lunghezze del pendolo. Ecco quindi come il pendolo può farci conoscere le variazioni di gravità nei differenti luoghi della terra.

La legge su espressa si può dimostrare nella scuola coll'esperienza mediante l'*apparato d'oscillazione.* Si preparino tre palle d'ottone del diametro ciascuna di circa due centimetri, il cui centro d'oscillazione si può ritenere prossimamente nel loro centro di figura. Sopra un basamento PQ (fig. 89) havvi piantato un'asta verticale QM, la quale alla sua sommità porta un braccio orizzontale MN. A questo braccio vi sono attaccati per le loro estremità tre fili di seta non ritorti, ai quali si appendono le tre palle d'ottone *a*, *b*, *c*, in modo che le distanze verticali del loro centro dalla superficie inferiore del braccio MN, siano nei rapporti di 1, 4, 9. I tre pendoli si mettono contemporaneamente in moto, e si trova che *i tempi delle loro rispettive oscillazioni* seguono la ragione di 1, 2, 3, ossia *sono come le radici quadrate delle lunghezze* 1, 4, 9. Nell'istituire l'esperimento si osserveranno dapprima le oscillazioni di *a*, *b*, e si vedrà che, quando *a* ha compiuto due oscillazioni, *b* ne ha perfezionato una sola, e così il fine della seconda oscillazione di *a* si accorderà col termine della prima di *b*. Parimenti la terza oscillazione di *a* e la prima di *c* si accorderanno nell'egual maniera.

400. Siano T, *t* le durate d'una oscillazione di due pendoli, i quali nello stesso tempo θ fanno rispettivamente i numeri N, *n* d'oscillazioni. È chiaro che sarà $T=\frac{\theta}{N}$, $t=\frac{\theta}{n}$. Nella precedente proporzione generale sostituendo alle durate T, *t* i loro valori, si ha $\frac{\theta}{N} : \frac{\theta}{n} :: \sqrt{\frac{L}{g}} : \sqrt{\frac{L'}{g'}}$, da cui risulta $N : n :: \sqrt{\frac{g}{L}} : \sqrt{\frac{g'}{L'}}$, vale a dire che *i numeri delle oscillazioni fatte nello stesso tempo sono in ragione composta diretta delle radici quadrate delle forze acceleratrici ed inversa delle radici quadrate delle lunghezze.*

Se i pendoli oscillano nello stesso luogo della terra dove $g=g'$, allora *i numeri delle oscillazioni nello stesso tempo seguono la ragione inversa delle radici delle lunghezze.* E quando sia invece L=L' starà $N : n :: \sqrt{g} : \sqrt{g'}$, ossia $g : g' :: N^2 : n^2$; cioè *le gravità in due differenti luoghi della terra sono per lo stesso pendolo in ragione dei quadrati dei numeri d'oscillazioni fatte nello stesso tempo.*

401. Dalla legge esposta nel precedente paragrafo si deduce il modo di determinare la lunghezza del pendolo che deve battere i secondi in un luogo qualunque della terra. Sia N il numero delle

oscillazioni che fa un pendolo di nota lunghezza L in un dato tempo, per esempio in 15 minuti primi, il quale sarà equivalente al numero n di secondi o di oscillazioni che fa il pendolo a secondi nello stesso tempo. Chiamando x la lunghezza richiesta, sarà

$N^2 : n^2 :: x : L$, da cui si ricava $x=\frac{N^2L}{n^2}$, a nel caso esposto

$x=\frac{N^2L}{900}$.

402. Per mezzo del pendolo si può determinare con esattezza la velocità iniziale dei gravi liberamente cadenti, come altrove venne accennato (§. 246). Infatti, essendo $T=\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, si deduce $g=\frac{\pi^2L}{T^2}$, dove facendo $T=1''$ ed $L=0^{m},991$, si ha per l'equatore

$$g=(3,1416).0^{m},991=9,7808.$$

Il quale valore è identico con quello superiormente dato. Si è trovato poi per g in qualunque luogo posto alla latitudine α la formola

$$g=9,7808+0,0503211 \text{ sen.}^2\alpha,$$

che dà il valore della gravità indipendentemente dalla lunghezza del pendolo, e riesce più comoda per calcolare la gravità alla latitudine di 45° dove $\text{sen.}45=\sqrt{\frac{1}{2}}$, per cui si ha $g=9^{m},8059$.

403. La lunghezza del pendolo a secondi, ben determinata per un dato luogo, serve a verificare l'unità di misura o il metro, allorchè si avesse qualche sospetto, che per qualche causa qualunque ne fosse stato alterato il campione stabilito colle misurazioni fatte (§. 41). Si dia al pendolo la lunghezza necessaria per battere i secondi in un determinato luogo, per esempio all'equatore, dove si sa che un tal pendolo è di metri 0,991 che diremo $L=\frac{991}{1000}$ di metro. Chiamando ora x la lunghezza del metro si avrà $x=L+\frac{9}{1000}x$, ossia

$991x=1000L$, e per conseguenza $x=L+\frac{9}{1000}L$; cioè *la lunghezza del metro è eguale a quella del pendolo che batte i secondi all'equatore aumentata di nove millesime parti di quest'ultima lunghezza.*

In tal modo si avrebbe la verificazione esatta del metro senza bisogno di misurare di nuovo il meridiano terrestre. Osserviamo qui che, se si avesse presa la lunghezza del pendolo a secondi per l'unità di misura lineare, essa differirebbe di poco dal metro attuale che è una frazione esatta del meridiano terrestre (§. 41). Se quindi in causa di rivoluzioni, che la prudenza umana non potesse impedire nè prevedere, andasse perduto il campione del metro, si potrebbe facilmente riprodurne la lunghezza misurando il pendolo a secondi. La scienza dunque oggidì fornisce per parecchie verificazioni alcuni mezzi semplici ed esatti, che le nazioni ben anche più colte dell'antichità non possedevano.—La formola poi, per avere la lunghezza L del pendolo a secondi a qualunque latitudine a, è

$L=0,991+0,0050986$ sèn.^2a. Ai poli dove $a=90$ e quindi sen.$^2a=1$ si ha $L=0m,9960086$, ossia la lunghezza del pendolo a secondi sarebbe ai poli della lunghezza di poco più di 996 millimetri, mentre all'equatore è di millim. 991.

404. Il pendolo circolare, di cui sinora abbiamo parlato, fa le sue oscillazioni d'egual durata con moltissima approssimazione, quando si muove per archi differenti di piccola estensione (§. 394). Vi ha però la cicloide, per la quale, se si potesse far muovere, le oscillazioni riescirebbero rigorosamente isocrone qualunque fosse la grandezza degli archi. Huygens ha imaginato un pendolo cicloidale, il quale non è stato adottato per diversi inconvenienti, che presenta nella pratica.

Per comprendere la costruzione del pendolo cicloidale, bisogna rammentare che nella geometria si dimostra essere una tale curva evolvente di se medesima. Siano OM, ON due semicicloidi eguali (fig. 90), colle loro convessità rivolte verso il basso e fra loro a contatto nel punto O ed appoggiate per l'altra estremità sulla linea orizzontale MN parallela alla retta PQ che è la linea direttrice per descriverle col movimento del cerchio NQ. Ora al punto O si attacchi un filo di lunghezza eguale a quella di una semicicloide e si avvolga ad una delle medesime ON, per poi svolgerlo successivamente da essa ed avvolgerlo all'altra curva OM situata alla parte opposta. L'estremità C del filo nel suo movimento descrive la curva NAM, la quale è un'intera cicloide formata dalle due mezze NA, AM eguali alle prime due NO, OM. Talchè il cerchio, di diametro AB eguale all'altro di diametro NQ, genererà l'intera cicloide NAM movendosi sulla direttrice MN. Egli è per ciò che la cicloide chiamasi evolvente

di se medesima, essendo le due ON. OM le *evolute*, e la NAM l'*evolvente*.

Potremo ora comprendere la maniera di costruire un pendolo cicloidale. Le due semicicloidi ON, OM siano due lamine ben levigate d'una certa larghezza, ed al loro punto d'unione O si attacchi un filo flessibilissimo di seta OC, all'estremità C del quale è appeso un grave il cui centro d'oscillazione C coincide col punto N, quando è avvolto alla semicicloide ON. Portato il grave in quest'ultima posizione, si abbandoni a se medesimo ed esso oscillerà per archi cicloidali e nel compiere l'intera oscillazione il centro stesso verrà a coincidere coll'estremità M dell'altra semicicloide. Sperimentando la durata di queste oscillazioni, tanto nel caso che si facciano per l'intera cicloide quanto per archi più o meno grandi, si trova ch'esse si compiono nel medesimo tempo e riescono quindi isocrone. Per la costruzione di questo pendolo importa di notare altresì che la semicicloide è di lunghezza eguale a due volte il diametro del circolo generatore o a quattro volte il raggio del medesimo.

Appunto per tale proprietà si ha, per la durata d'un'oscillazione per archi cicloidali, la formola $T=\pi\sqrt{\frac{4R}{g}}$, dove R è il raggio del circolo generatore. Questa formola è rigorosamente vera e non approssimata come l'altra $T=\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, che dà la durata per gli archi circolari (§. 394).

405. Applicando il pendolo agli orologi (§. 395), deve nelle sue oscillazioni conservare una durata costante e verificarsi l'isocronismo in qualunque ora del giorno e in qualunque stagione dell'anno, indipendentemente cioè dalle variazioni di temperatura. Il pendolo è fatto generalmente d'una verga di metallo, cui sta appeso un grave di forma lenticolare, che perciò chiamasi la *lente del pendolo*. La lente è scorrevole sulla verga e si può abbassare ed innalzare con un dado su cui essa appoggia, il quale è applicato a vite all'estremità inferiore della verga.

Ora le variazioni di calore alterano la lunghezza del pendolo (§§. 132 e 133), e dalle variazioni della lunghezza si altera la durata delle oscillazioni (§. 399). Queste variazioni di temperatura succedono appunto nelle diverse ore del giorno e nelle diverse stagioni, per cui il pendolo nel corso dell'anno avrebbe un movimento irregolare, che riuscirebbe pernicioso all'andamento dell'orologio, giacchè difficil-

Digitized by Google

mente si potrebbe ogni volta correggere coll'innalzare od abbassare la lente per mezzo del dado a vite, ossia raccorciarlo nei tempi caldi ed allungarlo in quelli freddi. Si è rimediato a questi inconvenienti coi *pendoli a compensazione*, di cui parleremo nella fisica particolare trattando del calorico.

406. Sino ad ora si è parlato del pendolo semplice: tutti i pendoli risultanti di parecchie parti pesanti, sono composti. Una volta però che sappiasi trovare del pendolo composto il centro di oscillazione, che ne determina la lunghezza, si applicano ad esso tutte le proprietà dimostrate pel pendolo semplice.

Per determinare il centro d'oscillazione d'un pendolo composto si prende un filo sottilissimo di metallo, al quale sta appeso un piccolo corpo molto denso di forma lenticolare o sferica, scorrevole sul filo. Il filo è disposto alla foggia d'un pendolo, che può ritenersi come semplice pel pochissimo peso del filo e per la piccolezza del corpo da esso sostenuto. Disposto ciò, si prende il pendolo composto di cui si cerca il centro d'oscillazione, si mette in movimento simultaneamente col pendolo semplice, e si abbassa o s'innalza in questo la lente sinchè le oscillazioni dei due pendoli siano sincrone o si compiscano nello stesso tempo. Quando si è ottenuta questa corrispondenza nei due pendoli, si misura la lunghezza di quello semplice, la quale, partendo dal punto di sospensione, si applica sul composto, e il punto dove giunge sarà il centro d'oscillazione di quest'ultimo, che ne determinerà la lunghezza. In generale dunque *il centro di oscillazione del pendolo composto è quel punto che, supponendo in esso concentrata tutta la massa, darebbe la lunghezza del pendolo semplice le cui oscillazioni sarebbero sincrone col composto medesimo.*

407. Si abbia il pendolo composto AP (fig. 91) al cui filo rigido stanno appesi due gravi P, Q situati a differenti distanze dal punto A. I due corpi P, Q, nel caso che fossero indipendenti l'uno dall'altro; prenderebbero nel primo istante del loro moto la medesima velocità, perchè, essendo eguale in ambidue l'angolo d'elevazione, sono essi sollecitati dall'egual forza acceleratrice g.sen.a (§. 394). Ma le masse P, Q sono collegate mediante il filo inflessibile, e non possono sin dal primo istante prendere eguale velocità: imperocchè il grave Q, meno distante dal punto di sospensione A, deve percorrere nello stesso tempo uno spazio minore dell'altro grave P più distante. Egli è per ciò che la loro rispettiva velocità è scambievolmente alterata, essendo accresciuta in P e diminuita in Q.

Digitized by Google

Il grave P dunque nel discendere deve descrivere l'arco Pp nello stesso tempo che Q percorre l'arco Qq, e quindi essi prenderanno delle velocità iniziali proporzionali a questi archi come spazi descritti nel medesimo tempo (§. 221), ossia ai relativi raggi Ap, Aq, cui sono proporzionali e noteremo con a, b. Le due masse P, Q nella loro discesa avranno le quantità di moto Pa, Qb. Questi moti sono due forze, che fanno ruotare il pendolo intorno al punto A, e la loro somma o risultante eguaglia $Pa+Qb$. Ora il momento della risultante relativamente all'asse che passa pel punto A deve eguagliare la somma dei momenti delle due componenti (§. 321): chiamando quindi x la distanza Af del punto d'applicazione della risultante dall'asse dei movimenti, si avrà $x(Pa+Qb)=Pa^2+Qb^2$, da cui si ricava $x=\frac{Pa^2+Qb^2}{Pa+Qb}$. La distanza $x=Af$ è la lunghezza del pendolo composto dalle due masse P, Q.

Tre gravi P, Q, R congiunti invariabilmente con un filo rigido, le cui distanze dal punto di sospensione sono rispettivamente a, b, c, formano un pendolo composto di cui nello stesso modo si trova la lunghezza $y=\frac{Pa^2+Qb^2+Rc^2}{Pa+Qb+Rc}$. Il prodotto della massa pel quadrato del raggio di rotazione si chiama *momento d'inerzia*, per cui si ha in generale che *la lunghezza del pendolo composto è eguale alla somma dei momenti d'inerzia delle masse divise per la somma dei momenti semplici delle masse medesime.*

408. Nei precedenti calcoli si suppone che il filo rigido sia privo di gravità e che le masse abbiano sì piccolo volume da potersi considerare altrettanti punti materiali. Queste supposizioni non si verificano in natura; e per rinvenire la lunghezza d'un pendolo composto, d'un indefinito numero di punti materiali e di lamine elementari poste a differenti distanze dal punto di sospensione, è necessario conoscere il calcolo differenziale ed integrale. D'altronde anche in questi calcoli si suppone la materia d'un'omogeneità di parti ed altre condizioni difficili ad ottenersi nella pratica. Nell'uso quindi serve benissimo il metodo superiormente indicato (§. 406), cui si fanno le opportune correzioni per la gravità del filo. Il filo è di platinocolla lente dello stesso metallo, e Borda ha determinato appunto in tal modo la lunghezza del pendolo semplice.

409. Col calcolo si è trovato che una *verga pesante* d'eguali dimensioni e d'uniforme densità in tutta la sua lunghezza, *ha il centro*

Digitized by Google

di oscillazione posto ai $^2/_3$ *della sua lunghezza dal punto di sospensione.*

Una *lamina della forma di triangolo isoscele* d'uniforme grossezza e densità, forma un pendolo appeso pel suo vertice *di lunghezza eguale* a $^3/_4$ dell'altezza del triangolo.

Una *lamina circolare* sospesa per un punto della sua periferia presenta un pendolo della *lunghezza di* $^3/^8$ *del diametro del cerchio.*

Il *cono retto* sospeso pel suo vertice come pendolo ha per *lunghezza l'altezza del cono medesimo.*

La *piramide a base quadrata* forma un pendolo *il cui centro di oscillazione è posto alla distanza* $^4/_5\ a + \frac{d^2}{15a}$ *dal punto di sospensione*, dinotando con a l'altezza della piramide e d il lato della base.

La *sfera* di raggio r, sospesa ad un punto distante di d dal suo centro, costituisce un pendolo *la cui lunghezza è espressa da* $d + \frac{2r^2}{5d}$. Talchè, se il punto di sospensione si prenda sulla superficie della sfera e sia per conseguenza $d=r$, la lunghezza risulta di $^7/_5\ r$.

410. Sulla legge delle durate delle oscillazioni dei pendoli è fondata la costruzione del *metronomo*, o di quello strumento che, colle sue oscillazioni variabili a piacimento e con forti battute, misura il tempo nella musica. Si sono imaginati diversi metronomi, ma quello più in uso è il metronomo di Mälzel, che qui facciamo conoscere.

Allorquando un pendolo debba fare delle oscillazioni più o meno lente, bisogna dargli una lunghezza proporzionale al quadrato della durata di una di quelle oscillazioni (§. 399). Per un pendolo che dovesse avere ogni battuta della durata di 2 secondi bisognerebbe prenderlo della lunghezza quadrupla di quella del pendolo a secondi, ossia di quasi 4 metri (§. 397). Siccome le battute nella musica variano dalle frazioni di secondo sino a parecchie di queste unità di tempo; così non potrebbe essere applicato il pendolo nella sua semplicità ad uso di metronomo, per gl'inconvenienti che presenterebbe la sua lunghezza nella pratica.

Il tempo nella musica si soleva dinotare colle parole *allegro*, *presto*, *andante*, *adagio*, *largo* e simili, usate anche dagli stranieri. Esse sono di significazioni troppo vaghe ed indeterminate, e quindi non atte a stabilire la giusta misura delle battute secondo la mente del compositore. Il metronomo ha levato questo difetto ed esso con-

siste in una cassetta ABC (fig. 92) della forma di tronco di piramide, divisa in due porzioni ABFE, EFC. Nell'inferiore avvi disposto un sistema di ruote dentate posto in movimento da una molla. Il moto è regolato dal pendolo OP mobile sopra un asse posto in O. La verga del pendolo si prolunga superiormente da O in D, e porta, oltre la lente P come il pendolo comune, nel braccio superiore un piccolo peso p scorrevole su di essa. Nei metronomi comuni il braccio inferiore OP è della lunghezza di 4 centimetri e quello superiore OD di circa 14 centimetri. La verga ha la grossezza di poco più d'un millimetro e la larghezza di 4. La lente P è di piombo, il cui diametro maggiore è di circa 2 centimetri. Sulla superficie anteriore OD della verga vi sono segnate delle divisioni, che corrispondono ad altre divisioni incise sopra una lamina d'avorio OC innestata nel corpo dello strumento.

411. Avanti di far conoscere l'uso del metronomo dimostriamo come viene rallentata la durata dell'oscillazione del pendolo OP di così poca lunghezza, la quale è di soli 4 centimetri, mentre il pendolo a secondi è lungo di più di 99 centimetri (§. 397). Il peso p applicato al braccio superiore della verga del pendolo serve appunto a rallentare il moto del pendolo OP. Infatti il grave P, nel discendere dalla posizione in cui si trova, deve sollevare il peso p, e la forza acceleratrice di P è elisa in parte dalla forza ritardatrice di p. Quanto più il peso p si discosta dal punto di sospensione O, tanto più grande diventa il suo momento diretto a ritardare il moto del pendolo OP; talchè col mettere in una posizione più bassa o più alta p, facendolo scorrere sul braccio superiore dell'asta, si accelera o si ritarda l'oscillazione, e quindi si hanno delle battute nel pendolo più o meno brevi, colle quali si può regolare il tempo nella musica.

Osserviamo che il pendolo del metronomo è composto di due pendoli, il primo dei quali vien mosso dal grave P ed ha la lunghezza OP=L, l'altro riceve il movimento dal grave p ed ha la lunghezza Op, che chiameremo x. Questo secondo pendolo, collegato col primo, ne forma uno composto, nel quale l'azione di p è interamente contraria a quella di P e quindi negativa rispetto a questa. Da quanto si è dimostrato (§. 407) la lunghezza y di questo pendolo composto sarà $y = \frac{PL^2 - px^2}{PL - px}$. Ora si faccia P=$p$ ed in tal caso sarà $y = L + x$. Chiamando dunque le durate T, t rispettive del pendolo

semplice di lunghezza L e di quello del metronomo di lunghezza $y=L+x$, si avrà (§. 399) $T : t :: \sqrt{L} : \sqrt{(L+x)}$. Dal quale si apprende che la durata t dell'oscillazione del pendolo del metronomo si rende più lenta aumentando la lunghezza $x=Op$ del braccio superiore della verga, cui è attaccato il peso p. Si renderanno dunque più o meno lente le oscillazioni del pendolo del metronomo col fissare il grave p più o meno distante dal centro di movimento.

412. Discostando dunque dalla direzione verticale il pendolo composto del metronomo, esso fa le oscillazioni intorno all'asse O, le quali si rendono più celeri abbassando p, ossia avvicinandolo di più all'asse di rotazione O, e sono fatte più lente allontanando il peso p dal medesimo asse. Le divisioni sono regolate in maniera, che indicano le oscillazioni fatte in un minuto primo. S'intende quindi da sè che i più grandi dei numeri, delle divisioni sulla scala d'avorio e sull'asta, sono posti verso il basso e i più piccoli verso l'alto. In alcuni metronomi si estendono soltanto dal numero 30 al 160, in altri dal 40 al 200. Se per esempio il peso p si fissa sulla verghetta al numero 60, le oscillazioni saranno della durata d'un secondo, se al numero 120 di mezzo secondo. Nelle composizioni musicali si suole scrivere il tempo del metronomo mediante i seguenti segni: ♩=72, oppure ♩=46, ed anche 𝅗𝅥=100. Nel primo caso significa che ognuna di quelle note musicali o il numero di altre equivalenti ad essa ha la durata d'un'oscillazione del pendolo montato sul numero 72; nel secondo caso la nota musicale ha il valore in tempo d'un'oscillazione del pendolo disposto sul numero 46, e così nel terzo caso sul numero 100.

Da quanto si è esposto si comprende come il metronomo possa servire in alcune sperienze di fisica per contare unità determinate di tempo. Esso può riuscire opportuno per misurare il tempo nella caduta dei gravi pel piano inclinato (§. 327).

413. Il centro d'oscillazione ha un'intima relazione col centro di percossa, allorquando si fa ruotare un corpo intorno ad un punto per colpire o battere un oggetto qualunque. Il *centro di percossa* è quel punto per dove passa la risultante di tutte le forze, di cui sono dotate le molecole d'una massa in moto. E siccome queste forze devono essere dirette contro l'oggetto che si vuole percuotere, perciò bisogna che la massa percuziente debba essere diretta in modo che il centro di percossa colpisca l'oggetto, onde produrre il massimo

effetto, e nessuna componente vada perduta per la percossa medesime.

Un corpo sollecitato dalle gravità ha il centro di percossa, che coincide con quello della gravità stessa. E il centro di percossa del battipalo (§. 236) risiede nello stesso punto, dove si trova il centro di gravità della massa percuziente. Parimenti l'ariete, essendo mosso in maniera che le sue molecole concepiscono tutte l'eguale velocità (§. 237), il suo centro di percossa risiede nello stesso sito del centro di gravità.

Allorquando la massa del corpo percuziente riceve un movimento di rotazione intorno ad un asse, le molecole vengono animate da differenti velocità, e quelle più distanti dall'asse, concependo maggior velocità, sono fornite anche di maggior forza (§. 224). La risultante quindi di tutte queste forze ha un punto d'applicazione dove risiede il centro di percossa, il quale è facile riconoscere che si confonde col centro d'oscillazione. Quando dunque si fa ruotare nella mano un bastone, una clava e simili, con cui si vuole percuotere un oggetto, per conseguire il maggior effetto possibile, bisognerà determinare col metodo insegnato (§. 406) il centro d'oscillazione o di percossa, il quale varia non solo secondo la variazione della densità ma anche secondo la forma del corpo percuziente (§ 408).

Se il colpo vien dato in falso, ossia se il corpo percuziente non batte contro l'oggetto con quella parte dove risiede il centro di percossa, l'effetto sarà minore, e rimarrà una forza tendente a far muovere la verga intorno all'oggetto su cui è diretto il colpo. Talchè se è la mano che dirige il colpo, essa proverà un trabalzo od una scossa diretta all'insù, se il centro di percossa cade al di là dell'oggetto, ed all'ingiù se cade al di qua.

414. Si possono intorno al pendolo proporre diversi problemi anche in relazione col moto per caduta libera e lungo il piano inclinato. Noi diamo i seguenti per esercizio degli scolari.

Si domanda la lunghezza del pendolo, il quale abbia la durata d'un'oscillazione eguale al tempo che impiega un grave a cadere da un'altezza verticale data o da un piano inclinato parimenti dato?

Nel primo caso, essendo a l'altezza data, si ha $L=\frac{2a}{\pi^2}$; nel secondo caso $L=\frac{2l^2}{\pi^2 a}$, dove l è la lunghezza del piano ed a la sua altezza.

Non sarà difficile di dimostrare che, dati due pendoli i quali facciano rispettivamente le loro oscillazioni negli stessi tempi che impiega un grave a percorrere successivamente due differenti piani inclinati, *le lunghezze dei due pendoli stanno come le lunghezze dei due piani inclinati medesimi.*

Sarà facile altresì, coi principii dimostrati, di rispondere alle seguenti domande: — Quale lunghezza si darà al pendolo per battere il mezzo minuto secondo? — Quante oscillazioni farebbe a Torino ed a Napoli in un minuto primo il pendolo della lunghezza di metri 1,50? — Qual numero d'oscillazioni farebbe all'equatore in un giorno di tempo medio il pendolo della lunghezza di un metro? — Quanto deve essere lungo il pendolo decimale, ossia il pendolo che faccia 100000 oscillazioni in un giorno medio? Quest'ultimo pendolo avrebbe un moto più celere del pendolo sessagesimale a secondi, che fa in quel tempo soltanto 86400 oscillazioni; ed esso servirebbe nel caso che fosse stata adottata la divisione del giorno in 10 ore, dell'ora in 100 minuti primi, e del minuto primo in 100 minuti secondi.

Digitized by Google

PARTE SECONDA

DELLA FISICA PARTICOLARE

(Corpi ponderabili).

415. Dopo esserci aggirati intorno alle proprietà ed alle leggi, che regolano in generale la materia; veniamo a considerare quelle appartenenti a ciascuna classe di corpi, ad occuparci degli effetti e dei fenomeni che essi presentano ed a studiare in particolare i diversi modi d'azione delle forze e dei principii imponderabili sulla natura materiale, esaminando come dall'azione di questi principii nascono parecchi altri fenomeni ed effetti alla nostra scienza attinenti. Da quanto si è dichiarato e da quanto si è detto altrove (§. 34) si scorgerà di leggieri come procederemo in questa seconda parte, incominciando dapprima ad intrattenerci della *fisica particolare dei corpi ponderabili*, che comprende i *solidi*, i *liquidi* e gli *aeriformi*, e passando poscia a trattare della *fisica particolare delle sostanze imponderabili*, che si aggirano intorno agli effetti prodotti sulla stessa materia ponderabile dagli agenti della *luce*, del *calore*, dell'*elettricità* e del *magnetismo*. Per meglio comprendere il modo d'azione di questi agenti, importa conoscere almeno la natura di alcuni fluidi aeriformi, ed appunto per tal motivo daremo, in un'*appendice* alla fisica particolare dei corpi ponderabili, le notizie sulla natura dei corpi più universalmente sparsi nell'universo avanti d'innoltrarci nello studio delle sostanze imponderabili.

CAPITOLO PRIMO

DELLE PROPRIETA' DEI CORPI SOLIDI.

416. Le proprietà fisiche inerenti alle materie solide costituiscono la fisica mecanica dei corpi solidi e la *stereomecanica*. I corpi solidi sono più o meno forniti di coesione, per la quale manifestano una maggiore o minor difficoltà ad essere separati nelle loro parti; essi sono altresì più o meno densi e presentano un peso od una gravità speci-

Digitized by Google

fica più o meno grande che dà loro proprietà statiche particolari, le quali interessano lo studio della nostra scienza. Infine i solidi possono essere modellati sotto diverse forme e collegati fra loro in differenti maniere; talchè, sollecitati nell'uno e nell'altro caso da forze ad essi applicate o inerenti alla materia (come la gravità) o sviluppantisi in date circostanze (come l'elasticità), essi offrono allo stato d'equilibrio e di moto fenomeni particolari statici e dinamici. Simili combinazioni prendono in moltissimi casi la particolare denominazione di machine, di strumenti, o di apparati, che si prestano come mezzi d'indagini nella fisica con l'osservazione e coll'esperienza (§. 30) e vogliono essere quindi studiati nel loro stato d'equilibrio e di moto. Le su accennate proprietà e combinazioni, sotto l'influenza ben anche di forze estranee, formano l'argomento in generale della fisica mecanica dei solidi, o della *stereomecanica*: la quale, quando riguarda i fenomeni di quiete e d'equilibrio, costituisce la *stereostatica*; e quando quelli di moto, la *stereodinamica*, e ciò al pari della divisione adottata per le proprietà generali della materia (§. 37). Questo capitolo quindi sarà diviso in due sezioni, nella *stereostatica* e nella *stereodinamica*.

SEZIONE I.

Della statica dei solidi o stereostatica.

417. Nei solidi, l'attrazione delle loro molecole prevale alla forza espansiva del calorico (§. 10), da cui sono investite tutte le materie, e dà loro uno stato particolare d'equilibrio, pel quale si possono modellare sotto qualunque forma e figura. Pel diverso grado di coesione poi presentano delle proprietà particolari nella loro maniera d'esistere altrove indicate (§. 12). La *durezza* e la *mollezza* dipendono in generale dal grado più o meno grande d'energia, con cui la forza d'attrazione tiene unite le molecole materiali; e in parecchi casi anche da una posizione particolare che prendono le molecole stesse, in virtù d'azioni con cui si è operato il loro riconsolidamento. La forza espansiva del calorico e degli altri agenti imponderabili, come pure l'interposizione di fluidi ponderabili, scemano la coesione del solido, per cui esso acquista lo stato della mollezza. Allorquando la coesione non incontra verun ostacolo a spiegare la sua energia, ne risulta un'aggregazione più soda e consistente e si ha la durezza. L'argilla stemprata nell'acqua è molle, ma quando è scevra di questo liquido, essa è di tale consistenza da resistere alle percosse del-

l'acciajo del battifuoco. Supponendo anche il concorso di tutte le circostanze favorevoli alla coesione, non si potrà avere un corpo perfettamente duro e di particelle inseparabili. La forza di coesione, per quanto sia grande, è limitata. Considerata la durezza sotto questo punto di vista, si può dire che non esistono corpi perfettamente duri; la durezza quindi deve ritenersi uno stato relativo e non come proprietà assoluta dei corpi. Il *diamante* è ritenuto dai fisici come il corpo più duro; giacchè niun altro esercita un'azione sopra di esso e giunge ad intaccarlo. Egli è per ciò che per tagliarlo e pulirlo è mestieri far uso dei suoi frammenti. Dopo il diamante seguono nell'ordine dei corpi i più duri le *pietre preziose*, il *quarzo*, la *silice*, lo *smeriglio*, l'*agata*, la *corniola*, la *pietra focaja* ed altri minerali di questa specie. Un discreto grado di durezza si riscontra anche nel vetro, il quale possiede per questo la proprietà di conservare liscia e lucente la sua superficie.

418. La *durezza* e la *mollezza* hanno i loro gradi e variano nei differenti corpi ed anche nello stesso corpo secondo le circostanze. In generale il calorico diminuisce nei solidi il loro stato relativo di durezza e li avvicina alla mollezza. La *tenerezza* partecipa di quelle due proprietà, e diconsi *teneri* quei corpi relativamente ad altri quando essi sono facilmente intaccati e segnati da questi ultimi. Il *marmo*, p. e., è un corpo tenero relativamente all'*acciajo*, e questo relativamente al diamante. I corpi teneri si lavorano con facilità per mezzo di strumenti costrutti con quelli da cui sono intaccati, e si modellano e si dispongono sotto differenti forme secondo i bisogni delle arti e secondo richiedono i comodi della società. Gli utensili, le suppellettili, e tanti oggetti formati di solidi si logorano appunto col lungo uso.

I mineralisti hanno convenuto una scala di durezza, che si nota coi numeri interi dall'uno sino al dieci e con frazioni decimali intermedie. Per intendere questi numeri, che si applicano da alcuni ai corpi per dinotare il grado relativo di durezza, presentiamo qui la scala di convenzione adottata dai mineralisti.

1.—Varietà meno dura di talco.
2.—Gesso, ossia solfato di calce naturale cristallizzato.
3.—Spato calcare, o carbonato di calce cristallizzato.
4.—Spato fluore, ossia fluoruro di calcio.
5.—Apatite, ossia fosfato di calce naturale.
6.—Feldspato, e specialmente la specie detta dai naturalisti *orthoclase*.

7.—Quarzo, o cristallo di rocca; silice cristallizzata.

8.—Topazio ed altre pietre preziose di minor durezza delle seguenti.

9.—Corindone, che comprende il rubino ed altre pietre preziose durissime formate d'allumina cristallizzata.

10.—Diamante.

La durezza dei diversi solidi s'indica appunto con tali numeri; e quando essa ha un grado intermedio si esprime per mezzo del numero intero immediatamente inferiore e d'una frazione decimale. Così, per esempio, le varietà più dure del talco hanno la durezza compresa tra 1 e 2, che s'indicherebbe con 1,5. Le durezze tra 1 ed 1,5, sono pure quelle che si possono attribuire al ghiaccio, secondo le diverse circostanze di temperatura. Il solfo ha una durezza poco diversa da 2; l'acciajo temperato può collocarsi fra 5 e 6. La durezza del vetro è di circa 5.

La *consistenza* viene chiamata da alcuni la resistenza alla percussione ed alla compressione, e per questo la si vuole distinta dalla durezza. Il *diamante* resiste più del *ferro* ad essere intaccato, ma meno alla percussione; lo stesso è del *vetro* paragonato col *legno*. Egli è per ciò che l'incudine, su cui si percuotono i corpi, si forma di ferro e non d'acciajo; quantunque questo sia più duro dell'altro corpo.

419. Abbiamo già veduto quando i corpi solidi diconsi *fragili* e *friabili* (§. 12). Questi due stati dipendono dal modo con cui le molecole sono fra loro aggregate, e dalla disposizione che hanno preso le parti al momento dell'aggregazione; talchè questa disposizione si oppone al loro reciproco movimento, ed una di esse non può discostarsi dalle vicine senza essere rimossa dalla sfera d'attività di coesione e separarsi dalla massa. Quando per mezzo della percussione o della compressione succede una tale disgregazione soltanto in alcune parti, ha luogo l'effetto della fragilità; ma quando la rottura avviene in molte di esse parti, e il solido si riduce in piccioli frantumi, si ha la *friabilità*.

Il solfo, il fosforo, il vetro ed altri corpi se, dopo riscaldati ad una temperatura un poco elevata, vengano subitamente raffreddati e in tal modo tosto vieppiù riconsolidati, diventano molto friabili. Se ne ha l'esempio nei *matracci di Bologna* e più ancora nelle *lagrime bataviche*. I primi sono matracci di vetro col fondo molto grosso, che vengono raffreddati bruscamente sottoponendoli ad una temperatura molto bassa mentre sono ancora in incandescenza. La

parte esterna si riconsolida in modo che impedisce alle molecole interne di prendere la posizione voluta dalla loro mutua coesione; talchè esse rimangono in una situazione sforzata, dalla quale tendono ad essere rimosse in virtù della stessa attrazione molecolare. La superficie del vetro ha acquistato molta consistenza per quel subitaneo raffreddamento, che impedisce d'essere intaccata dai corpi non molto duri. Lasciando cadere sul fondo del matraccio una palla di piombo, per quanto vi eserciti una forte percossa, non arriva a segregare le molecole del vetro così indurito ed il matraccio non si rompe. Ma se invece si lascia cadere una scheggia di pietra focaja anche piccolissima, che è atta ad intaccare il vetro, allora la più piccola fenditura, che vi produce, basta per disturbare l'equilibrio instabile delle molecole e il matraccio si rompe.

Le lagrime bataviche sono gocce di vetro fuso riconsolidate gettandole nell'acqua gelida, dove prendono nel consolidarsi la forma di lagrima. Le molecole interne hanno una posizione così disordinata e sforzata che, rompendo l'appendice, la lagrima va in minutissimi pezzi. L'aria esterna, che si precipita in alcuni vacui rimasti nella massa vitrea, tosto che le è aperto l'adito, contribuisce a produrre l'effetto, il quale è perciò sempre accompagnato da un lieve scoppio. Questo fenomeno riesce sorprendente a chi lo osserva per la prima volta, tanto più che la massa vitrea ha acquistato tale durezza, in quel riconsolidamento subitaneo, da resistere a ripetuti colpi di martello.

420. Alcuni corpi solidi, come i metalli, battuti a freddo, acquistano bensì maggiore elasticità (§. 174), ma perdono della loro flessibilità e diventano fragili. Colla battitura a freddo le molecole sono costrette a prendere una posizione sforzata differente da quella richiesta dalla coesione nella sua libera azione. In tale stato anormale, una volta che sia vinta la coesione di alcune parti, si disturba l'equilibrio instabile esistente, ed il corpo si rompe in pezzi. Il ferro, per esempio, battuto a freddo, acquista la struttura cristallina e diventa fragile per essere state rimosse le molecole dallo stato voluto dalla loro coesione ed a prendere un posto che non è loro naturale. Le sale di ferro, che servono pei carri, per le carrozze e pei veicoli delle strade ferrate, non devono appunto per tale ragione essere lavorate a freddo nelle ultime operazioni. La verga di ferro infatti, nel luogo dove è stata battuta a freddo, si spezza facilmente; mentre sotto colpi eguali di martello si piega soltanto quando sia stato ricotta, ossia arroventata e poscia lasciata raffreddare lenta-

mente in modo che le molecole possano prendere la posizione voluta dalla coesione. Egli è per ciò che in alcune officine si usa di togliere alle sale di ferro lo stato di fragilità, per essere state lavorate a freddo, col farle ricuocere avanti di metterle in opera (1).

421. La *duttilità* è differente dalla *mollezza*. Nei corpi molli basta una debole forza per produrre un cambiamento di posto nelle molecole, senza disgregarle dalle contigue. La coesione non è così debole nei corpi duttili, nei quali essa continua a mantenere sotto uno stesso volume le particelle che si muovono per obbedire alla forza, da cui sono compresse. La duttilità richiede che le molecole possano trascorrere le une sulle altre e trovare nuove posizioni stabili d'equilibrio. I metalli sono i più duttili della natura. Abbiamo già detto che, pel modo con cui si cambia posizione alle molecole, la duttilità differisce dalla malleabilità (§. 12).

La facoltà di prestarsi all'allungamento, al distendimento ed all'assottigliamento trova ostacolo o nella forma delle particelle integranti o nella coesione delle medesime. Vediamo quindi alcuni corpi, senza duttilità e malleabilità al loro stato naturale, acquistare tali proprietà in sommo grado quando sono investiti dal calorico o penetrati da qualche materia straniera, che per affinità diminuisce la coesione di quei corpi e facilita il movimento delle loro parti. La cera, alla temperatura vicina al grado zero del termometro, è fragile; riscaldata, diventa duttile e malleabile ed atta a ricevere forme diverse. La stessa cera, mescolata colla trementina, diventa del pari duttile e malleabile ed atta a ricevere le impressioni fatte su di essa alla temperatura stessa, in cui si mostrava fragile. Il vetro, nello stato ordinario, non si presta a verun cangiamento di forma. Il segreto d'un vetro malleabile, di cui si occupò qualche chimico dell'antichità, non si è ancora trovato. Il vetro diventa però d'una malleabilità e duttilità singolare quando è investito dal calorico; mentre allora prende tutte le forme, si allunga e si tira in fili sottilissimi, ed alcuni artefici hanno fatto col vetro dei lavori i più complicati e delicati, e perfino delle parruche e dei ricci, che somigliano a quelli dei più fini capelli. Sul finire del trascorso secolo, che erano di moda i ricci, parecchi ricordano i ricci di fili di vetro che portavano le signore eleganti. A Venezia si fabbricano collane, treccie, ceste d'ogni dimensione coi fili di vetro. Si fanno pure pennelli e

(1) Vedi *Annali di fisica, chimica ecc.*, di Majocchi, tom. X, pag. 207 e 209; e tom. XXI, pag. 211.

spazzole colle setole di sottili fili di vetro, e tessuti e paramenti da chiesa con disegni ed ornamenti intrecciati coll'orditura di seta e la tessitura di fili di vetro (1). Fra i metalli, alcuni sono duttili e malleabili tanto a freddo che a caldo, come l'oro, l'argento, il platino, il rame, lo stagno, il piombo, il ferro. Lo zinco non diventa malleabile e duttile che alla temperatura per lo meno dell'acqua bollente. La lega d'ottone al contrario è soltanto malleabile e duttile a freddo, e diventa fragile riscaldata. L'antimonio, l'arsenico ed il cobalto sono fragili a temperature elevate. La ghisa, che è un composto di ferro impuro di miniera, è dotata di pochissima duttilità e malleabilità; essa però si fonde ad una temperatura minore del ferro, quantunque più dura dello stesso metallo; talchè la durezza non è in rapporto col grado di calore necessario alla fusione.

422. La *rigidezza* o l'*inflessibilità* dipende dalla durezza, ossia dalla coesione che impedisce lo spostamento e l'allontanamento delle molecole del corpo per la grande energia con cui le tiene congiunte. Il diamante e molte altre pietre preziose, oltre essere i corpi i più duri (§. 418) sono eziandio i più rigidi.

La *flessibilità* o *pieghevolezza* è dipendente non solo dalla debole coesione, che tiene unite le particelle dei solidi; ma in parecchi casi dalla forma che si dà al solido, facendolo molto sottile per lo meno in una dimensione, affinchè possa succedere con facilità l'allontanamento delle molecole da una parte e il riavvicinamento dalla parte opposta. L'osso di balena, la canna d'India, i legni verdi non molto grossi sono dotati di grande flessibilità e non sono del pari forniti di gran durezza; mentre una lamina d'acciaio è molto flessibile e molto dura.

423. La *tenacità* risulta dalla resistenza che oppone la coesione alla forza, che tende a disgiungere le molecole del solido per mezzo della trazione o distendimento, e per mezzo della pressione. Il calorico e l'affinità di materie estranee unite al corpo opponendosi alla coesione, diminuiscono in generale la tenacità dei solidi, e la tenacità dei composti varia da quella dei loro componenti. Le leghe hanno differente tenacità di quella dei metalli, di cui si compongono; l'acqua fa variare la tenacità delle funi, delle stoffe ecc.

La tenacità non segue la ragione della durezza, trovandosi che i corpi i più duri non sono sempre i più tenaci. Imperciocchè la te-

(1) Per l'arte di filare il vetro si vegga una Memoria di Bellani negli *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. I, pag. 193.

nacità dipende interamente dalla coesione delle molecole, mentre la durezza si attiene altresì alla posizione che hanno dovuto prendere le molecole stesse in parecchie circostanze (§. 417). Il ferro che non è più duro dell'acciaio e delle pietre preziose, è tuttavia più tenace di questi solidi. I ponti sospesi a catene o funi formate con fili di ferro, dimostrano la gran tenacità di questo metallo. In Italia si vedono ponti pensili col ferro, sul Po a Torino ed a Casale Monferrato, sulla Scrivia lungo la strada da Serravalle a Tortona e in altri luoghi del regno sardo; sulla Brenta a Padova, nel regno Lombardo-Veneto, sull'Arno vicino a Firenze nella Toscana, sul Garigliano, vicino a Napoli nel regno delle Due Sicilie, e su altri fiumi della penisola. Per esperimentare la resistenza di questa sorta di ponti, si caricano essi successivamente di 10, 20, 40, 60 mila chilogrammi, con cui provano alcune leggiere inflessioni nella curvatura delle catene o delle funi da cui sono sostenuti, riprendendo la primitiva figura dopo che si sono ristabiliti al peso primitivo. Le funi o le catene si fanno di tale grossezza da reggere al carico di poco meno di 200 chilogrammi per ogni metro quadrato, che vien preso per limite del peso che tal sorta di edifizii sono al più destinati a sostenere. Le funi o le catene di ferro sono impiantate alle due sponde del fiume nel terreno, ritenute con ramponi, caviglie, traverse, muratura o simili, e si appoggiano sopra pilastri o colonne elevate sul suolo, per cui si distendono a traverso al fiume formando una curva, che i geometri chiamano catenaria. A queste curve si attaccano delle spranghe di ferro di lunghezza decrescente in modo che colle loro estremità inferiori si trovano sulla stessa linea orizzontale. Alle estremità di queste spranghette sta sospeso il palco del ponte.

424. Le proprietà su accennate delle materie solide sono applicate alle arti in differenti maniere per rivolgerle a profitto dell'uomo. I coltelli ed i varii strumenti da taglio si affilano, i cristalli si molano e si lisciano, le lenti ottiche si arruotano e si levigano, le pietre preziose si appianano e si puliscono, i metalli si eguagliano e si forbiscono con altri corpi più duri come sono le mole, le coti, le lime, lo smeriglio, il tripoli, le sabbie silicee, la spoltiglia, che hanno l'attitudine d'intaccare quegli oggetti e quegli attrezzi e levare loro le particelle prominenti.

Nelle arti l'acciaio si rende più duro, come si disse, col mezzo della tempra, il che è utilissimo pei molti usi, cui è destinato. La tempra consiste nell'immergere l'acciaio allo stato incandescente

dentro l'acqua o altro liquido a bassa temperatura. Le molecole prendono per quel subitaneo raffreddamento una posizione irregolare tale da non poter essere riavvicinate così facilmente e rimosse le une sulle altre. Alle volte si fa riscaldare di nuovo più o meno l'acciaio per diminuire la fragilità che acquista in una tempra troppo forte, con che però perde della sua durezza. Un nuovo arroventamento seguito da lento raffreddamento fa svanire l'effetto della tempra.

Onde fare scomparire l'inconveniente della fragilità nell'acciaio e conservargli la durezza per formare buoni strumenti da taglio, si è imaginato di fabbricarli con lamine d'acciaio fasciate o legate con fili di ferro, ed alternate con altre lamine, e quindi fuso e riunito assieme il tutto col mezzo del fuoco. Gli strumenti fabbricati con questo processo hanno il tagliente molto resistente, nel mentre che il filo di ferro dolce con cui è riunito l'acciaio gli toglie il difetto della fragilità. Tale è il modo con cui sono fabbricate le *sciabole e le lamine taglienti damascine*, il processo di fabbricazione delle quali fu scoperto in Asia e fatto conoscere in Europa dal professore Crivelli (1). Il tunsteno è un metallo molto duro, ed una piccola quantità di esso unita all'acciaio produce un damasco di buona qualità.

La mollezza, cui si riducono artificialmente alcuni corpi, riesce utile nelle arti. L'argilla si rende molle impastandola con acqua per far mattoni, tegole, quadroni, stoviglie, tondi, statue, vasi ecc. nella plastica; i quali oggetti si coprono con vernici e con ismalti, che si fanno disseccare all'aria ed al fuoco e si rendono consistenti ed atti a resistere alle ingiurie del tempo. Il vetro si rende molle col fuoco per moltissimi usi, e la cera si ammollisce pure col riscaldarla per farne statuette ed altri lavori.

La duttilità e la malleabilità di parecchi solidi sono utili nelle arti: le foglie d'oro si adoprano nelle indorature; i fili metallici servono per le corde degli strumenti musicali, e per costruire grate, reti e molti altri attrezzi, e i vasi di rame, di ferro ed altri metalli sono di grand'uso nella vita sociale. Il ferro, che acquista una maggior malleabilità posto al fuoco, si lavora in molte fogge, e si fabbricano con esso una varietà indefinita di suppellettili, di utensili e di strumenti utili all'agricoltura, a molte arti ed agli usi domestici. I me-

(1) Vedi la memoria di lui: *Sull'arte di fabbricare le sciabole di damasco*; Milano 1821, pag. 49 e seguenti.

tali duttili, che si tirano alla trafila, si potrebbero ottenere in fili lunghissimi più lucidi se i pertugi, pei quali si fanno passare, si rivestissero di pietra dura, ossia se fossero fatti nel rubino, nello zaffiro e simili (1).

La flessibilità è pur essa utile nella vita sociale: le funi, i canapi, i fili di lino, i cordoncini di cotone, di seta, di lana, le bacchette di legno, d'osso, di canna d' India si adoprano con gran vantaggio nelle arti. I corpi rigidi, sia in virtù della loro grossezza o della loro natura, servono pure utilmente nei lavori dell'industria meccanica. Appunto per la loro rigidezza, le grosse spranghe di ferro, e le opere in bronzo conservano la loro forma nei lavori in cui vengono impiegate; le travi per la loro rigidezza sono utili nell'architettura, e nella costruzione dei palazzi e delle nostre abitazioni.

Si è veduto come la grande *tenacità* del ferro serva utilmente alla costruzione di ponti pensili sopra i fiumi (§. 423); ora molti altri corpi per la loro tenacità sono di grande importanza per la meccanica usuale, fra i quali i cuoi e le pelli animali, che posseggono molta tenacità congiunta alla flessibilità. Le funi e le correggie fatte con pelli d' anguilla si sono trovate di maggiore tenacità e durata di quelle d' eguai grossezza fatte con fili di canapa, o con cuoio comune (2).

425. I solidi non hanno tutti la medesima densità e quindi sono dotati di peso specifico differente l'uno dall' altro (§. 136). È importante per le scienze e per le arti il sapere determinare il peso specifico dei solidi, come pure delle altre due classi di corpi ponderabili. Qui ci occuperemo di tale determinazione pei solidi, giacchè in quanto ai fluidi liquidi ed aeriformi si tratterà nei seguenti capitoli.

Parlando in generale delle gravità specifiche si sono dimostrati i principii, sui quali si appoggiano i metodi per rinvenirle (§. 138). Il primo di tali principii si è di determinare esattamente *il peso assoluto del solido relativamente al peso d'un egual volume d'acqua, preso per unità*, la quale è il corpo cui si riferiscono le gravità specifiche dei solidi e dei liquidi; il che in sostanza si riduce a *dividere il peso del solido proposto per quello dell'egual volume di acqua*. In pratica non è così facile a valutare il volume d'un so-

(1) *Annales de chimie et de physique*; Parigi, tom. XXXVIII, pag. 109.
(2) Vedi *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. XVIII, pag. 328.

lido di qualunque forma, almeno con quell'esattezza che si richiede per questa specie d'indagini. Ma per conoscere con molta precisione il peso del volume d'acqua eguale a quello del dato solido, serve opportunamente il *principio d'Archimede*, il quale consiste in questo; *un corpo immerso in un fluido scema tanto di peso quanto è il peso del fluido spostato*. Un tal principio si dimostra tanto col ragionamento quanto coll'esperienza.

In fatti s'immerga un solido in un vaso pieno di fluido, per es. d'acqua, se dopo si levi il corpo solido, il posto da esso occupato verrà rimpiazzato dall'acqua, la quale verrà ad essere sostenuta dalla circostante; per lo che l'acqua che è andata ad occupare quello spazio avrà perduto per così dire tutto il proprio peso. Ora se nel medesimo spazio si torni a collocare il corpo solido, è chiaro ch'esso dovrà scemare tanto di peso quant'era il peso che perdeva l'acqua che prima si trovava in quel luogo. Ma siccome quell'acqua perdeva tutto il proprio peso, così il solido, che va ad occupare il posto dell'acqua, scemerà tanto di peso quant'è l'acqua rimossa.

Volendo dimostrare il medesimo principio coll'esperienza, si assicuri ad un filo o crine un cilindro di metallo *c* (fig. 93) e superiormente al medesimo un recipiente C di figura cilindrica e capace di contenere esattamente il volume di *c*. Si appendano ambidue ad un bacino *n* di una buona bilancia, e si ponga il tutto in equilibrio con dei pesi posti sull'altro bacino *m*. S'immerga poscia il cilindro *c* nell'acqua di cui è pieno il vaso V, e si osservi che si romperà l'equilibrio in modo che la bilancia prepondererà dalla parte dove si trovano i pesi. Ora per vedere se il corpo sommerso ha perduto tanto del proprio peso quant'è quello della massa del fluido rimosso, si riempia d'acqua il vaso superiore C, la cui capacità è eguale al volume dell'acqua rimossa, e si vedrà che l'equilibrio vien ristabilito. Dunque il raziocinio e l'esperienza ci convincono della verità della su esposta proposizione.

426. Ciò posto, ecco come si fa uso del dimostrato principio per trovare la gravità specifica dei solidi. Si prende una bilancia *bcmn* (fig. 93) sensibile ed esatta, la quale, per poter servire comodamente a questa sorta d'esperimenti, deve nel centro d'un suo bacino essere fornita d'un uncinetto. Il corpo, di cui si vuole la gravità specifica, si appende col mezzo d'un filo o d'un crine all'uncino sunominato, e se ne trova il suo peso assoluto ponendolo in equilibrio con dei pesi posti sul bacino *m*. S'immerge poscia questo corpo nell'acqua contenuta nel vaso V, e con dei pesi posti sul

bacino *m* si nota la perdita di peso che fa il corpo, la quale esprime il peso d'un volume d'acqua eguale a quello del corpo. Dunque *il peso specifico d'un solido si ottiene dividendo il suo peso assoluto pel peso che perde sommerso nell'acqua*. Infatti chiamando P, V, x il peso assoluto, il volume e la gravità specifica del corpo proposto, mentre p è il peso perduto o il peso d'eguale volume V d'acqua la cui gravità specifica è $d=1$; si avrà (§. 127) $x=\frac{P}{V}d=\frac{P}{V}$, ossia, ricavando il valore di V dalla seconda equazione e sostituito nella prima, $x=\frac{Pd}{p}$, e per essere $d=1$, $x=\frac{P}{p}$, dove sta espressa la regola dichiarata. Si abbia per es. un pezzo d'ottone il cui peso assoluto è grammi 21, e nell'acqua perde di peso grammi 2, 5, dividendo il peso assoluto 21 pel peso perduto 2, 5, il quoto 8, 4 esprimerà la gravità specifica dell'ottone.

427. Se il corpo, di cui si cerca la gravità specifica, sia d'una densità minore di quella dell'acqua, tal che non si possa in essa sommergere; allora gli si unisce un altro corpo di nota gravità specifica molto denso e capace di sommergersi nell'acqua unitamente al primo. Determinata la gravità specifica del composto, si trova *che la gravità specifica del corpo proposto si ottiene moltiplicando il suo peso per le gravità specifiche del composto e dell'aggiunto, ed il prodotto diviso per la differenza dei due prodotti risultanti, il primo col moltiplicare il peso totale del composto per la gravità specifica dell'aggiunto, e il secondo moltiplicando il peso dello stesso aggiunto per la gravità specifica del composto*. Il che in fondo si riduce a dividere il peso del corpo proposto per la differenza dei volumi dei due, composto ed aggiunto.

Per comprendere questa regola si noti con p ed x il peso assoluto e la gravità specifica del solido dato, con P, G le analoghe quantità note del corpo aggiunto, e con g la gravità specifica del composto o dei due corpi congiunti in uno. Siccome si è veduto che la gravità specifica in generale eguaglia il peso assoluto diviso pel volume (§. 127), per cui il volume risulta eguale al peso assoluto diviso per la gravità specifica; così il volume del corpo dato sarà $\frac{p}{x}$ e quello del corpo aggiunto $\frac{P}{G}$, e quindi il volume del composto riuscirà la somma $\frac{p}{x}+\frac{P}{G}$ di questi due, mentre il suo peso

assoluto è $p+P$. Si avrà dunque per l'espressione della gravità specifica g del composto, previamente determinata, $g=\frac{p+P}{\frac{p}{x}+\frac{P}{G}}$, da cui si ha $x=\frac{pgG}{G(P+p)-gP}$; dove sta espressa con linguaggio algebraico la regola data. Il valore di x si può mettere sotto quest'altra forma $x=\frac{p}{\frac{p+P}{g}-\frac{P}{G}}$, dove $\frac{p+P}{g}$ rappresenta il volume del corpo composto e $\frac{P}{G}$ quello dell'aggiunto, e quindi si riconosce che la regola data si riduce, come si disse, *a dividere il peso del corpo proposto per la differenza dei volumi dei due, composto ed aggiunto.*

428. Per trovare la gravità specifica dei solidi serve anche l'*areometro a boccetta*, il quale consiste appunto in una boccetta a larga bocca con tappo smerigliato. Vi ha un peso equivalente a quello della boccetta piena d'acqua distillata e chiusa col suo tappo, il quale peso è notato col nome di tara. Vi hanno altresì dei pesi, che servono soltanto pei liquidi, e di cui parleremo nel seguente capitolo; pei solidi è mestieri far uso dei pesi comuni. Sopra un bacino della bilancia si pone la boccetta piena d'acqua distillata e il corpo solido di cui si cerca la gravità specifica; sull'altro bacino si mette la *tara* ed altri pesi per ottenere l'equilibrio: è chiaro che questi pesi daranno il *peso assoluto* del corpo solido. S'introduce poscia nella boccetta il corpo, che farà sortire da questa tant'acqua quanto è il suo volume; si asciuga esternamente l'apparato e si pesa di nuovo: la diminuzione di peso è chiaro che esprimerà quello dell'acqua espulsa dal corpo, o il *peso d'un egual volume d'acqua.* Dividendo ora il peso assoluto per questo dell'egual volume d'acqua, è chiaro che si avrà la gravità specifica del solido dato (§. 425).

In mancanza d'una boccetta apposita, che costituisce il detto strumento, possono servire una o più fiale smerigliate di vetro. A tal fine si equilibra sulla bilancia una fiala piena esattamente d'acqua pura, si colloca vicino alla fiala il corpo di cui si cerca la gravità

specifica, mettendo sull'altro bacino della bilancia il peso necessario per ristabilire l'equilibrio: in tal modo si conosce il peso del corpo. Si toglie quindi il corpo dalla bilancia e il s'introduce nella fiala piena d'acqua; si chiude questa esattamente col suo turacciolo a smeriglio, e si prendono tutte le precauzioni affinchè non resti alcuna bolla d'aria nel suo interno. Avvertasi che non è necessario che il corpo v'entri in un pezzo solo: desso può ridursi anche in più pezzi. Asciugata esteriormente la fiala, si rimetta sul bacino della bilancia dove prima trovavasi. Siccome per l'introduzione in essa del corpo ha dovuto sortirne dell'acqua; così l'equilibrio della bilancia verrà disturbato: si ristabilisca pertanto per mezzo d'un peso posto sul bacino dove havvi la fiala, è chiaro che il detto peso indicherà la quantità d'acqua che in causa del corpo introdotto è sortita dal recipiente, indicherà cioè il peso d'un volume d'acqua eguale a quello del corpo. Dunque conoscendosi così e il peso del corpo e il peso d'un egual volume d'acqua; se ne avrà tosto la gravità specifica dividendo il peso del corpo medesimo pel peso dell'acqua sortita (§. 425).

429. V'hanno dei corpi che s'imbevono d'acqua senza sciogliersi, ed altri che vi si sciolgono. In questi due casi si opera diversamente. Si può trovare la gravità specifica dei corpi che s'imbevono dell'acqua tanto col primo (§. 426), quanto col secondo (§. 428) dei metodi esposti. Siccome la gravità specifica d'un solido è espressa dal quoziente che si ottiene dividendo il suo peso per quello d'un egual volume d'acqua (§. 425), ritenuto che questo volume è la somma dello spazio occupato dalla materia del corpo e dai pori di cui è sparso (§§. 40 e 135); e siccome il peso d'un egual volume d'acqua è coll'uno e coll'altro metodo il peso dell'acqua che il corpo scaccia immerso nella medesima; così imbevendosi il corpo d'acqua fa sì che, operando col primo metodo (§. 426), il peso perduto, in causa d'essersi aumentata la gravità assoluta del corpo senza aver subito alcun aumento il volume di lui, è minore del vero e di tanto quanto è l'acqua di cui egli si è saturato, e che operando coll'altro metodo (§. 428) il volume dell'acqua rimossa resterà eguale ancora a quello del corpo. Per la qual cosa bisognerà in ogni modo trovare il peso della quantità d'acqua di cui il corpo s'imbeve, ossia la differenza dei numeri che esprimono il peso che ha il corpo quando è secco, e il peso ch'egli ha quando si è saturato d'acqua, e poscia, nel caso si faccia uso del proprio metodo, aggiungere questa differenza al peso che il corpo ha effettivamente perduto: oppure, nel caso si

Digitized by Google

adoperi l'altro metodo, mettere un peso espresso dalla detta differenza sul bacino in cui non trovasi la fiala, per così equilibrare l'aumento di peso prodotto dall'imbibizione. Con ciò si avrà il peso che il corpo solido avrebbe perduto e il peso dell'acqua che avrebbe rimossa nella supposizione che non avesse la proprietà d'imbeversi di quel liquido. Trovato in tal modo il peso dell'acqua di un volume eguale a quello del corpo, se ne avrà tosto la gravità specifica dividendo, come si è detto, il suo peso assoluto pel peso dell'egual volume d'acqua così trovato.

Sia per es. il peso del corpo di grani metrici 1800. Immerso nell'acqua vi si lascia finchè si conosca essersi saturato di questo liquido, e si osserva quanto sia aumentato di peso, il quale aumento darà il peso dell'acqua di cui il corpo si è imbevuto. Poniamo che questo aumento sia di 60 grani. S'immerge il corpo nell'acqua e si nota quant'è il peso da esso perduto nel caso si operasse col primo metodo (§. 426); oppure, operando coll'altro metodo (§. 428), s'introduce in vece il corpo nella fiala e si cerca quant'è il peso dell'acqua che ha rimosso. Supponiamo che il peso perduto sia di 140 grani, l'acqua rimossa dal corpo introdotto nella fiala sarà perciò di 200 grani. Dunque, e nella supposizione che il corpo non avesse la proprietà d'imbeversi dell'acqua, e operando col primo metodo si otterrebbe il peso specifico di lui dividendo i grani 1800 per 140; ma essendosi egli imbevuto di 60 grani d'acqua, il divisore diventa in tal caso 140+60=200, che esprime appunto il peso dell'acqua rimossa operando col secondo metodo. Dunque la gravità specifica di quel corpo sarà rappresentata da $\frac{1800}{200}=9$.

Nelle correzioni fatte è tacitamente supposto che il solido, nell'imbeversi d'acqua, non aumenti di volume, il che è in generale contrario a quanto ci attesta l'esperienza (§. 113). In tal caso quindi, per procedere con maggiore esattezza nella determinazione della gravità specifica del solido, sarà meglio servirsi del metodo seguente, ove s'insegna a trovare la gravità specifica d'un solido solubile nell'acqua (1).

430. I due precedenti metodi non valgono a rigore per cono

(1) Si è imaginato un apparato apposito, detto da Kopp *volumenometro*, per determinare in casi consimili la gravità specifica dei corpi, il quale trovasi descritto colla relativa figura negli *Annali di fisica* ecc., di Majocchi, tom. XII, pag. 162.

scere la gravità specifica dell'argilla, d'un sale o di qualunque altro corpo che si scioglie nell'acqua. Il secondo dei medesimi però serve almeno per approssimazione. In questo caso si procede nell'operazione come si è detto superiormente (§. 428); avendo soltanto la cura di chiudere la fiala prima che il corpo introdottovi si sciolga.

Per rinvenire la gravità specifica d'un corpo che si scioglie nell'acqua; volendo operare con esattezza e servirsi indistintamente dei due metodi suesposti, prendesi un altro liquido, come alcoole, olio e simili, in cui il corpo non si scioglie. Si determina primieramente il peso specifico di questo liquido per rispetto all'acqua, il che si apprenderà nel cap.° seguente; si trova poscia il peso specifico del corpo proposto solubile nell'acqua per rapporto all'alcoole o all'olio, ecc. secondo i metodi insegnati (§. 426 e 428), e *si moltiplicano fra loro i numeri esprimenti le due gravità specifiche: il prodotto che ne risulta esprime il peso specifico del corpo proposto.*

Infatti sia d la gravità specifica del secondo liquido per rispetto all'acqua, mentre x è quella richiesta dal solido pure per rispetto all'acqua, il peso assoluto del quale è P, e p il peso perduto nel nuovo liquido. Ora le gravità x, d dei due corpi sono espresse dai pesi assoluti sotto lo stesso volume (§. 427), essendo appunto P il peso assoluto del solido e p, come peso perduto nel secondo liquido, il peso assoluto d'egual volume di questo liquido (§. 425); perciò starà $x : d :: P : p$, da cui $x = \frac{dP}{p}$. Ma il peso assoluto P diviso pel peso perduto p dal solido nel liquido, eguaglia la gravità specifica g del solido stesso per rispetto al medesimo liquido preso per unità di confronto; quindi, sostituendo, risulta $x = dg$; dove si contiene la regola data.

431. La cognizione della gravità specifica dei corpi offre molti vantaggi (1). Vi sono dei solidi che *nelle loro qualità esteriori* si assomigliano e talvolta l'occhio più esercitato non arriva a distinguerli l'uno dall'altro, come sono parecchie leghe metalliche ed alcune pietre preziose. Le dottrine della gravità specifica ci presentano una maniera facile per riconoscerne la differenza. Così il minerale chiamato *zaffiro d'acqua* è molto somigliante allo *zaffiro orientale*; ma la gravità specifica della prima pietra è 2,723, mentre quella della

(1) Abbiamo quindi creduto cosa opportuna di unire a questi *Elementi* una tavola delle gravità specifiche delle materie più conosciute.

seconda è 3,994. E qui v'è una necessità tanto più grande ad evitare l'inganno, in quanto che la differenza dei prezzi di quelle pietre sorpassa di molto quella delle loro gravità specifiche. In generale la gravità specifica è una cognizione fisica che serve molto alla storia naturale per conoscere diversi minerali (§. 6). Il *titolo* o la quantità di metallo fino che trovasi nelle monete, nelle medaglie e simile, si determina pure colla gravità specifica (§. 45).

In alcuni casi è facile avere il peso del solido, ma riesce malagevole a valutarne il volume per le sue irregolarità. In questi casi basta avere una scheggia di questo solido per determinarne con essa la gravità specifica mediante i metodi insegnati, ed allora si ha tosto *il volume dal quoziente del peso assoluto del solido diviso per la gravità specifica ritrovata*. Infatti essendo $g=\frac{P}{V}$ (§. 127), si ha tosto $V=\frac{P}{g}$, in cui si legge la regola data.

Si abbia una statua di marmo di Carrara del peso di chilogrammi 952. Essendo la gravità specifica di questo minerale espressa da 2,716, il volume della statua sarà eguale a $\frac{952}{2,716}=350,31$: numero che esprime in decimetri cubici il volume della statua, perchè un chilogrammo d'acqua occupa (§. 44) presso a poco un decimetro cubico (1).

Si ha bisogno alle volte di conoscere il peso di un corpo, che non si può avere direttamente colla stadera o colla bilancia, o per la sua grande mole, o per la sua situazione, o per altre circostanze; mentre per la sua forma regolare si può valutarne facilmente il volume. La cognizione della gravità specifica ci mette in grado di sapere tosto il peso del solido dato, il quale *è eguale al prodotto della gravità specifica pel volume*. Infatti per essere come precedentemente $g=\frac{P}{V}$, risulta $P=gV$.

(1) Dissi presso a poco, poichè è bensì vero che il peso d'un decimetro cubico d'acqua distillata alla temperatura di 4° del termometro centesimale, che costituisce il suo massimo grado di densità, forma il chilogrammo; ma osservando che la detta quantità d'acqua dev'essere pesata nel vôto, ne viene che un decimetro cubico d'acqua pesato nell'aria alla temperatura nominata risulta di chilogrammi 0,9987205, e ciò a motivo del peso che perde trovandosi immersa nell'aria (§. 425).

Si abbia un tronco di colonna di marmo serpentino dell'altezza di metri 2,23 e del diametro di metri 0,56. Il volume di questo tronco, giusta le regole della stereometria, si trova essere di metri cubici 0,554 o di decimetri cubici 554. Ora, essendo la gravità specifica del serpentino di 2,43, se si moltiplicano i decimetri cubici 554 per 2,43, il prodotto 1346,22 esprimerà il volume in decimetri cubici d'una quantità d'acqua eguale in peso al proposto tronco di colonna. Ma il peso d'un decimetro cubico d'acqua è di un chilogrammo; perciò il peso del sunnominato tronco sarà di chilogrammi 1346,22.

432. I solidi in virtù del calorico aumentano in generale di volume sotto la stessa massa, ossia si dilatano (§. 133). La loro dilatazione differisce per ciascuno di essi secondo la natura della materia di cui sono formati. In generale la dilatazione dei solidi, come pure quella dei liquidi, varia per ogni qualità di materia, per la ragione che in questi corpi predomina più o meno la forza di coesione (§§. 10 ed 85), la quale si attiene alla natura chimica della materia stessa. Nel capitolo del calorico esamineremo anche la dilatazione dei solidi prodotta da quest'agente, dove insegneremo altresì il modo di correggere le gravità specifiche, ottenute coi metodi indicati, per la variazione di volume dei solidi quando si esperimenti a differenti temperature, e così il modo di ridurre tutte le gravità specifiche all'unica temperatura stabilita (§. 138).

L'adesione prevale in modo nei solidi che, quando siano liquefatti dal calorico e raffreddati poscia con lentezza, si riconsolidano sotto forme regolari attinenti alla natura chimica del solido medesimo e si chiamano *cristalli* (§. 28). Spetta alla mineralogia di occuparsi della cristallizzazione delle diverse materie solide (§. 47).

433. Nella meccanica interessa non solo di conoscere la tenacità che presentano i solidi quando sono stirati secondo una loro dimensione, come è delle funi e dei canapi, delle correggie, delle catene, e simili, che fanno spesso parte degli ordigni inservienti alle arti, e che con quelle di ferro si sono costrutti i ponti pensili (§. 423); ma importa altresì di conoscere la tenacità che presentano nel resistere a forze di pressioni tendenti a schiacciarli, o a piegarli o romperli quando siano sostenuti da due lati. In somiglianti casi i meccanici sogliono chiamare la tenacità colle denominazioni di *resistenza assoluta* e di *resistenza relativa* o *rispettiva*. Quando si sottopone alla prova la resistenza assoluta d'un solido con pressioni subitanee, come delle monete e delle medaglie col conio, il metallo risente lo stesso effetto dei colpi ripetuti di martello, pei quali le molecole si

riavvicinano, il metallo si riscalda, s'indurisce ed aumenta di densità. Da alcune sperienze di Perkins sembrerebbe risultare che parecchi solidi, venendo gradatamente compressi sino a grandissime pressioni, di mille in due mila atmosfere, si riducono in polvere impalpabile, come se le loro molecole, costrette a riavvicinarsi al di là d'un certo grado, abbiano perduto la forza espansiva da cui erano tenute alla distanza voluta per costituire lo stato solido. Dobbiamo da questo conchiudere che, oltre essere limitata la tenacità dei solidi, ha altresì un limite la loro densità, il quale è impossibile di sorpassare qualunque sia lo sforzo che si faccia per portare le molecole ad un più alto grado di riavvicinamento.

La resistenza assoluta dei solidi si è applicata nella costruzione di colonne, di pilastri, di piedritti per sostenere pesi più o meno grandi negli edifizi ed in altre costruzioni; mentre la loro resistenza relativa serve a sorreggere le soffitte, le impalcature dei tetti, le murature negli architravi o simili. Sono stati sperimentati alcuni solidi per la resistenza assoluta sotto forma di parallelepipedi dell'altezza di 30 centimetri e di un centimetro quadrato di sezione, e si è trovato che la resistenza assoluta d'un pilastrino fatto di quercia, di mattoni, di pezzi di macigno, e d'un sol pezzo di pietra, stanno fra loro come i numeri 131, 76, 72 e 203.

Furono altresì sottoposte alla prova travi e travicelli come pure spranghe o verghe di legno, di metallo di differente sezione quadrata e lunghezza, sostenute alle loro due estremità ed aggravate nel mezzo.

La loro resistenza varia secondo la lunghezza e la grossezza o la sezione di quei solidi; secondo la stagionatura ed altre qualità dei legni e secondo la natura e lo stato dei metalli. La forma influisce anche sulla resistenza relativa dei solidi, essendosi trovato che colla stessa quantità di metallo, formando delle verghe massicce e delle verghe cave d'eguale lunghezza, le seconde sono più resistenti delle prime.

Inoltre le verghe rotonde massicce di ferro sono più resistenti alla flessione di quelle quadrangolari nel rapporto di 35 : 33. Inoltre la resistenza alla rottura delle verghe quadrangolari di ferro è maggiore di quelle rotonde nel rapporto di 19 : 18 (1).

Chiamando 1 quella resistenza per la *quercia*, si è trovata nelle stesse circostanze pel *noce* di 0,80, per l'*olmo* di 0,75; per l'*abete* di 0,70, per l'*ontano* e pel *salice* 0.68, pel *faggio* 0,66, e pel *pero* e

(1) *Annali di fisica, chimica, ecc.*, di Majocchi. tom. I. pag. 76.

rilievo 0,56. Pel ferro e qualche altro metallo la resistenza relativa è molto maggiore.

434. I solidi sotto diverse forme si collegano in un numero indefinito di maniere per formare, come si disse, machine strumenti e differenti congegni di gran vantaggio non solo alla mecanica usuale ed alle arti, ma ben anche alle scienze sperimentali e principalmente alla fisica per la moltitudine di apparati d'ogni specie, che con essi si sono costrutti e si costruiscono allo scopo d'interrogare la natura coll'esperienza o di ascoltarla coll'osservazione. Queste machine, per quanto siano indefinite di numero, si riducono però tutte, nel loro stato d'equilibrio e di moto, ad alcune poche che sono per così dire gli *elementi*, gli *organi primitivi* di quegli ordigni, e che per ciò vennero chiamati *machine semplici*. Per comprendere il modo di azione di ciascuna machina, che presenta la fisica, importa di dichiarare i principii della *statica* e della *dinamica* di quelle semplici, senza entrare nel campo riservato alla scienza mecanica. Con tali principii ci diverrà più chiaro l'uso di ciascuna machina della fisica, e ci faciliterà il modo d'imaginarne ben anche al bisogno delle nuove per le indagini particolari e per sperienze ed osservazioni e per prove speciali cui si volesse sottomettere la materia ed i corpi.

In generale *le machine sono ordigni destinati a trasmettere nel modo più conveniente l'azione d'una forza o potenza*, ossia *sono quei mezzi mediante i quali si può comunicare, dirigere, accrescere, diminuire e regolare l'azione della forza o potenza e facilitarne l'applicazione*. Le machine sono bensì indefinite di numero, ma differiscono fra loro soltanto per lo scopo cui sono destinate, per la materia con cui sono costrutte, pel numero e per la disposizione delle parti di cui si compongono. Queste parti od organi mecanici, in riguardo ai principii dell'equilibrio e del moto, si riducono ad un numero assai limitato, che si chiamano, come si disse, *machine semplici*. Esse sono le seguenti: la *leva* o *vette*, la *carrucola* o *puleggia*, il *tornio*, il *piano inclinato* e la *vite*.

435. Chiamasi *leva* una verga o asta inflessibile AB (figure 94, 95 e 96), colla quale si comunica l'azione d'una potenza P ad un oggetto resistente qualunque R, appoggiandosi sopra un sostegno C, su cui la verga stessa può prendere un movimento di rotazione. Il punto o la linea d'appoggio dicesi *fulcro* o *ipomoclio*; le distanze AC, BC, del fulcro C ai punti d'applicazione A, B della potenza e della resistenza, chiamansi *bracci di leva* rispettivamente di quegli agenti; mentre le perpendicolari CE, CF (fig. 94), abbassate dal fulcro C

sulla direzione rispettiva della potenza e resistenza, prendono il nome di *bracci delle forze*. Se la potenza e la resistenza agiscono perpendicolarmente alla verga (fig. 95 e 96) allora i *bracci di leva* si confondono coi *bracci delle forze*. La verga della leva può essere formata di metallo, di legno o di altra materia consistente e di grossezza conveniente secondo la resistenza relativa dei solidi (§. 433).

Si distinguono tre generi di leve: la *leva di primo genere* ha il fulcro C interposto alla potenza P ed alla resistenza R (fig. 94); nella *leva di secondo genere* la resistenza R è applicata tra il fulcro C e la potenza P (fig. 95); nella *leva di terzo genere* la potenza P agisce tra il fulcro C e la resistenza R (fig. 96). La verga può avere qualunque forma ed essere in qualsiasi modo piegata. Oltre la *leva diritta* o *rettilinea*, si ha la *leva curvilinea* quando la verga è piegata sotto qualunque specie di curva (fig. 97); e la leva angolare, quando l'asta è piegata in due parti poste sotto qualunque angolo (fig. 98). I bracci della leva sono in questi due casi le rette CA, CB congiungenti il fulcro C coi punti A, B dove sono applicate le forze. Non bisogna confondere i *bracci di leva* coi *bracci delle forze*, essendo questi ultimi, come si disse, rappresentati dalle perpendicolari CE, CF condotte dal fulcro C rispettivamente sulle direzioni delle forze medesime (figure 97 e 98).

436. Per determinare le condizioni d'equilibrio in ogni genere di leva, si osservi che ciascuna delle due forze, potenza e resistenza, tende a far ruotare l'asta intorno all'ipomoclio, per cui, nel caso di equilibrio, i loro momenti di rotazione devono essere eguali (§. 322). Se quindi si abbassi dal fulcro una perpendicolare CE CF (fig. 94) sopra la direzione di ciascuna forza, le quali perpendicolari o *bracci delle forze* abbiano rispettivamente le lunghezze m, n, dovrà essere per l'equilibrio $mP=nR$; oppure denominando, con x, y gli angoli che le due forze fanno colla verga, e con a, b i bracci di leva delle medesime, si ha eziandio aP sen.$x=bR$ sen.y (§. 322). Se $x=y$, allora è $aP=bR$. Dunque nella leva in equilibrio *il prodotto della potenza pel suo braccio è eguale al prodotto della resistenza pel rispettivo braccio*. Quando poi le forze agiscono parallelamente fra loro, allora per l'equilibrio *il prodotto della potenza pel braccio rispettivo di leva è eguale al prodotto della resistenza moltiplicata pure pel corrispondente braccio di leva.*

Dall'equazione $mP=nR$ si ricava la proporzione $P:R::n:m$, per cui le condizioni d'equilibrio si sogliono annunziare anche dicendo

che *nella leva la potenza e la resistenza sono in ragion inversa dei rispettivi bracci.*

Il principio fondamentale della leva si dimostra sperimentalmente nelle scuole coll'apparato detto *leva aritmetica*. Esso consiste in una leva di primo genere AB (fig. 99) a bracci esattamente eguali, con ciascun braccio diviso in decimetri e centimetri. All'apparato vanno uniti parecchi pesi metrici d'un grammo e di multipli diversi di questa unità, muniti di gancio come vedesi nei due P, R. Essi si attaccano ai bracci della leva nei punti di divisione segnati sui medesimi, e si trova che per l'equilibrio il prodotto del numero delle unità del peso P pel numero delle unità di lunghezza del braccio cui è attaccato lo stesso P, è in ogni caso eguale al prodotto ottenuto in simil maniera riguardo al peso R. Si dimostra lo stesso principio anche per gli altri due generi di leva dirigendo una delle forze ad agire dal basso all'alto, col mezzo di ordigni, che impareremo a conoscere più avanti e che si applicano ad appositi apparati.

437. Dalla natura dei tre generi di leva si deduce che *in quella di primo genere la potenza per l'equilibrio può essere eguale, maggiore o minore della resistenza.* Infatti il braccio m della potenza P (fig. 94) può essere eguale, maggiore o minore del braccio n della resistenza R, secondo la posizione del fulcro C: nell'equazione superiore $mP=nR$, nel caso di $m=n$ sarà $P=R$, nel caso di $m>n$ sarà $P<R$ e finalmente nel caso di $m<n$ sarà $P>R$. Nella leva di secondo genere il braccio m della potenza P è sempre maggiore di quello n della resistenza R (fig. 95), e quindi per verificarsi l'equazione $mp=nR$, dovrà essere $P<R$; cioè *nella leva di secondo genere la potenza per l'equilibrio è sempre minore della resistenza.* Finalmente nella leva di terzo genere il braccio della potenza P è sempre minore di quello della resistenza R (fig. 96), e per l'equazione d'equilibrio $mP=nR$ bisogna che sia $P>R$, cioè *nella leva di terzo genere la potenza è sempre maggiore della resistenza.*

In queste deduzioni si è fatto astrazione dalla gravità della verga AB; ma tenendo conto di questa circostanza, il peso G della medesima diventa una forza, la quale nella maggior parte dei casi tende, del pari che la potenza e la resistenza, a far ruotare la verga intorno all'ipomoclio. Il peso G può considerarsi tutto concentrato nel centro di gravità della verga (§. 285), e il suo momento di rotazione sarà hG, dove h è la lunghezza della perpendicolare abbassata dal fulcro sulla verticale condotta per quel centro. L'equazione superiore quindi diventerà $mP \pm hG = nR$, dove il segno superiore vale

nel caso che il peso della verga abbia la sua azione cospirante con quella della potenza e il segno inferiore nel caso ch'esso agisca cospirante colla resistenza. Che se il centro di gravità corrisponde al fulcro, in tal caso il peso della verga è sostenuto dal fulcro stesso, e non influisce sulle condizioni d'equilibrio. Infatti allora è $h=o$, e quindi si ha ancora l'equazione semplice d'equilibrio $mP=nR$. È questo l'unico caso, che si verifica nella sola leva di primo genere, in cui il peso della verga non contribuisce a far variare per l'equilibrio il rapporto fra la potenza e la resistenza; giacchè negli altri due generi il fulcro è situato all'estremità della leva, e non può quindi trovarsi sulla stessa verticale che passa pel centro di gravità. Nella leva di secondo e terzo genere (fig. 95 e 96), il peso della verga può essere cospirante colla potenza, oppure esercitare un'azione contraria alla medesima. Il peso della verga è cospirante se la potenza agisce come la gravità dall'alto al basso, ed è contrario se la potenza agisce dal basso all'alto come nelle leve rappresentate nelle figure. Nel primo caso sarà per l'equilibrio $mP+hG=nR$, nel secondo caso $mP-hG=nR$.

438. Le leve sono impiegate nelle arti e formano la parte essenziale di parecchi strumenti usuali. — Il *martello*, adoperato colla parte biforcata per isvellere il chiodo da una tavola, non è che una leva angolare di primo genere, dove il punto d'appoggio è sulla tavola stessa, il braccio della resistenza è la parte biforcata ed il manico quello appartenente alla potenza. Per lo che quanto più sarà lungo il manico tanto più facilmente si potrà spiccare il chiodo (§. 437). Le *forbici*, le *cesoie*, le *tanaglie*, le *smoccolatoie* sono altrettante leve di primo genere accoppiate. Lo sforzo delle dita, con cui si premono i due manichi, è la potenza; il perno, con cui sono riunite le due leve, è il fulcro comune alle medesime, e la materia che si stringe o si taglia alle opposte estremità, presenta la resistenza. Ne viene quindi che l'efficacia di quegli strumenti si aumenta allungando i fusti delle verghe coi quali si esercita l'azione della mano.

Molti attrezzi e congegni comuni, come pure molte azioni dell'uomo nelle operazioni usuali appartengono alla leva di primo genere. La *leva angolare*, per esempio, è impiegata negli usi domestici a trasmettere con fili metallici il movimento ad un campanello per chiamare la servitù, posta in luoghi distanti dalla stanza dove risiede il padrone della casa. Questa specie di leva s'impiega

altresì nelle machine per produrre dei movimenti circolari ed alternativi. Avanti di lasciare questa specie di leva, importa di far notare che in essa il fulcro equilibra l'azione della potenza e della resistenza, e se queste due forze sono perpendicolari ai bracci della leva, la pressione sul fulcro risulta precisamente eguale alla somma delle azioni delle forze medesime (§. 436). Non è dunque conforme al principio dell'economia delle forze la pratica di taluni, che, nel portare un corpo, lo mettono a cavalcione all'estremità d'un bastone appoggiato sulla spalla, tenendolo coll'altra estremità premuto sulla spalla stessa. In tal caso questa regge un peso maggiore di quello del corpo, e doppio di esso, se i due bracci sono eguali; per cui si affaticherebbe meno la spalla portandolo immediatamente sulla medesima. Alla leva di primo genere appartengono altresì le *bilance* e le *stadere*, due specie di machine di grande importanza pei bisogni e per le contrattazioni sociali, e di cui ci occuperemo più avanti.

439. Leve di secondo genere sono i *remi* dei barcaiuoli. L'acqua è il punto d'appoggio o fulcro, la barca la resistenza e l'uomo, che maneggia il remo, la potenza. La *maciulla* per dirompere il lino e la canapa, la *gramola* per preparare la pasta ad uso della fabbricazione del pane, il *tagliapaglia* ed altri strumenti consimili sono leve appartenenti a questa categoria. Alcuni *mantici* per le fucine, i *soffietti* da caminetto sono pure leve di secondo genere, in cui la massa d'aria in essi rinchiusa presenta la resistenza, il fulcro è riposto nella snodatura delle due guancie, e la potenza si esercita dalla persona che mette in moto quelle machine.

440. Alla leva di terzo genere appartengono i *pedali* dell'organo e della mola dell'arrotino; le *calcole* dei telai; come pure le *molle*, le *pinzette*, le *morse*, dove il fulcro è al punto di congiungimento delle due branche di questi strumenti, la resistenza è presentata dalla materia che si stringe, e la potenza è l'azione diretta della mano, come nelle molle e pinzette, od esercitata col mezzo di una vite, come nelle morse.

Questo genere di leva è, nel suo stato d'equilibrio, in isvantaggio della potenza, la quale deve sempre essere maggiore della resistenza (§. 437). Il braccio dell'uomo, nel sostenere un peso alla sua estremità, presenta pure una leva del terzo genere, dove il fulcro trovasi nell'articolazione del gomito, i muscoli applicati poco distanti dal gomito stesso sono la potenza, e la resistenza si presenta nel peso sostenuto. L'azione del muscolo quindi riesce molto maggiore del

Digitized by Google

peso che si regge all'estremità del braccio. Questo genere di leva poi è applicato non solo al braccio, ma a tutte le nostre membra suscettibili d'un movimento spontaneo per la contrazione dei muscoli, e il corpo umano conta 90 di queste leve mosse o tirate da 180 gruppi di specie di corde dette muscoli. Come mai il Creatore ha impiegato pel uomo il genere di leva più svantaggioso all'azione della potenza? Bisogna riflettere che, passando dallo stato d'equilibrio a quello di moto, l'aumento istantaneo dell'efficacia della potenza è sempre a scapito della velocità ossia del tempo che s'impiega per ottenere un dato effetto; per cui nella machina umana, volendosi ottenere i movimenti colla maggior velocità ossia nel minor tempo possibile, il Creatore ha dovuto sacrificare nella forza per conseguire un tale intento. La struttura dell'uomo deve a questa mirabile combinazione di leve la destrezza e l'agilità di poter fare parecchi movimenti e prendere diverse attitudini nel minor tempo possibile, il che non possono eseguire altri animali di struttura più semplice e con un numero minore di muscoli e di leve di questa specie.

441. Più leve combinate assieme formano il *sistema di leve*. Ad una leva AB, che regge il peso o la resistenza R (fig. 100), sia necessaria per l'equilibrio la forza x applicata in B, ed invece di questa si ottenga l'equilibrio colla forza y agente per mezzo di una seconda leva BC, in fine si applichi una terza leva CD colla potenza P, per la quale si ha l'equilibrio che si otteneva colla forza y. I bracci delle forze di AB, o per essi, se le forze sono parallele (§. 436), i bracci di leva AE, EB abbiano rispettivamente le lunghezze n', m', quelli BF, FC della leva. BC siano n'', m'', e in fine i bracci CG, GD della leva CD eguaglino n''', m'''. Per l'equilibrio della prima leva AB dovrà essere $m'x=n'R$, della seconda leva BC sarà $m''y=n''x$, della terza leva CD si avrà $m'''P=n'''y$. Ricavando il valore di x dalla prima equazione e sostituito nella seconda, e poscia da questa il valore di y per essere sostituito nella terza equazione, si ottiene la relazione $m'm''m'''P=n'n''n'''R$, vale a dire che *nel sistema di leve per l'equilibrio il prodotto di tutti i bracci della potenza per la stessa potenza eguaglia il prodotto della resistenza pei rispettivi bracci.* Siccome poi da quell'equazione si ha la proporzione:

$P : R :: n'n''n''' : m'm''m'''$; così si suol dire che *per l'equilibrio nel sistema di leve la potenza e la resistenza sono in ragion inversa dei prodotti dei rispettivi bracci.* Si può combinare un sistema con

leve di diverso genere, e per esso si verifica l'egual canone nel caso dell'equilibrio.

Per dimostrare in una scuola questa verità col mezzo dell'esperienza, si ha l'*apparato del sistema di leve*, nel quale al braccio più corto di ciascuna leva vi sono applicati i contrappesi *p*, *q*, *r* (fig. 100) per equilibrare il maggior peso, che ha ciascun braccio più lungo. Le leve devono moversi liberamente sui loro fulcri, e si trova che il peso applicato in P, e quello appeso in R hanno per l'equilibrio il rapporto inverso dei prodotti dei rispettivi bracci di leva.

Vedesi dunque che, moltiplicando il numero delle leve e disponendole in modo che col loro braccio più lungo favoriscono la potenza, si può equilibrare un peso enormemente grande con una piccolissima potenza, ed è all'appoggio di ciò che Archimede si gloriava di dire:—*Da ubi consistam, et cœlum terramque movebo.*—*Dammi fuor della terra un punto solo — Ed io scardinerò la terra e il polo.*—Ma ciò vale soltanto per l'equilibrio, perchè, come vedremo, se si passa al moto quanto più si guadagna in forza d'altrettanto si perde in velocità. Considerato quindi l'effetto dinamico d'una potenza, le machine non possono creare della forza, ma soltanto facilitarne l'azione e distribuire lo spazio ed il tempo del movimento come riesce più conveniente, senza che il prodotto di questi due elementi della potenza non venga cangiato.

442. La *bilancia comune* è una leva di primo genere a bracci eguali, che formano il *fusto* AB (fig. 101). In A, B sono appesi con fili o con catenelle metalliche due bacinetti E, F, che appellansi i *gusci* della bilancia. I gusci sono costrutti d'egual peso unitamente alle catenelle od ai fili con cui stanno appesi al fusto, e quindi, quando sono vuoti, si fanno equilibrio intorno al punto d'appoggio C, come lo fanno quando vengono caricati di pesi eguali, per verificarsi in ambidue i casi le condizioni d'equilibrio della leva (§. 436). Si apprende dall'esposto come, ponendo dei pesi noti sopra uno dei gusci, questi fanno conoscere il peso della merce o di qualunque corpo posto sull'altro guscio, ed è in tal modo che nei bisogni e nelle contrattazioni sociali la bilancia serve a pesare i corpi. Connesso al fusto *r* e corrispondente al perno C vi ha una specie di freccia od indice, che mostra la posizione d'equilibrio della bilancia.

Il fulcro o perno C, intorno a cui si muove il fusto, deve coincidere, per la bilancia esatta, col centro di gravità di tutto il sistema dell'asta componente la bilancia medesima. Le bilance, che si adoprano nella società per pesare merci di non gran valore e dove non

si richiede la precisione più scrupolosa, hanno il centro di gravità situato un poco più basso dell'asse di rotazione, e ciò allo scopo che, dopo la pesata, la bilancia scaricata si restituisca da sè all'equilibrio. Per pesare cose preziose e per l'uso delle scienze è necessario però che l'asse di rotazione coincida col centro di gravità di tutto il sistema del fusto. Nel commercio invece si ha bisogno di procedere con prestezza nel pesare i corpi, e si sacrifica l'esattezza alla speditezza; giacchè i gusci d'un'esatta bilancia stanno in equilibrio anche quando il fusto non è orizzontale, perchè si verificano in questo caso le condizioni, e si ha allora, come si chiama comunemente, una *bilancia folle*, che riesce incomoda nell'uso del commercio. La bilancia sarebbe veramente *folle*, perchè d'instabile equilibrio, se il centro di gravità del sistema fosse situato superiormente all'asse (§. 304). Quando però il centro di gravità sia posto al disotto ad una certa distanza dall'asse, si commetterebbero nelle pesate errori sensibili.

Per meglio comprendere l'importanza della posizione dell'asse della bilancia relativamente al centro di gravità, abbiasi la lamina triangolare omogenea d'ottone ABC (fig. 102), il cui centro di gravità è in G ad un terzo della linea DC (§. 288). Sia esso mobile intorno all'asse situato in O superiormente al centro di gravità G. L'equilibrio è stabile per essere il centro G più basso del punto O e sulla stessa verticale CD (§. 304). Ora si rimuova la lamina da tale posizione facendola ruotare intorno ad O e ponendola nella posizione A'B'C': abbandonata poscia a se medesima, essa riprenderà la primitiva posizione con un momento espresso dal prodotto del peso della lamina per la distanza GO del centro di gravità dall'asse. Dunque con tale disposizione dell'asse si ha bensì il vantaggio che il lato AB si mette ben presto nella posizione orizzontale, ma essa porta l'inconveniente che, essendo AB il fusto della bilancia, nell'equilibrio della merce col peso vi avrebbe parte il momento del centro di gravità, il qual momento può essere di qualche entità se la distanza GO ha una certa grandezza. Quando poi l'asse è posto in O al disotto del centro di gravità G (fig. 103), allora la bilancia è *folle*, perchè l'equilibrio è instabile tendendo il centro di gravità a cadere facilmente al basso per riprendere la posizione stabile.

443. Abbiamo detto che la bilancia, scarica di pesi, deve coi gusci equilibrarsi intorno al perno. Questa sola condizione però non basta per avere il carattere distintivo d'una buona bilancia, perchè

i bracci potrebbero essere disuguali e farsi l'equilibrio in virtù dei pesi differenti dei gusci o di quelli dei bracci. In questo caso si ha la *bilancia falsa*, dalla quale, col metodo ordinario di pesare, si avrebbero dei risultati erronei.

La condizione essenziale per avere la bilancia esatta è l'eguaglianza dei bracci. Se non si mettessero i gusci in equilibrio o in virtù della disuguaglianza dei pesi dei gusci stessi o di quelli dei due bracci, si avrebbe in questo caso del pari una *bilancia falsa*, la quale però, previamente equilibrata con un peso addizionale posto nel guscio meno pesante, può servire a pesare i corpi col metodo ordinario. Si chiami infatti con a la lunghezza di ciascun braccio, con M, N i due momenti di rotazione della bilancia scarica, equilibrata col peso addizionale, e con p il peso necessario a tenere in bilico quello x della merce, si avrà $M+ap=N+ax$, ed alternando la posizione sui gusci del peso e della merce sarà eziandio $M+ax=N+ap$, sottratta l'una dall'altra equazione, si ha $a(p-x)=a(x-p)$, da cui si deduce $x=p$. Dunque *con una bilancia falsa a bracci uguali si ottiene il peso dei corpi col metodo ordinario, equilibrandola dapprima con un peso addizionale posto sopra uno dei gusci.*

Quando i bracci sono disuguali bisogna servirsi del *metodo di doppia pesata*, il quale consiste nell'equilibrare il corpo sopra un guscio con gravi posti sull'altro guscio, e poscia di levarnelo sostituendo ad esso pesi noti che ristabiliscono l'equilibrio. È chiaro che la somma di questi pesi darà esattamente quella del corpo. Infatti nominando con a, b i due bracci, con q il peso complessivo dei gravi necessari ad equilibrare dapprima il peso x del corpo da essere pesato, e poscia il peso noto p, si avrà $aq=bx$, ed $aq=bp$, e quindi $bx=bp$, ossia $x=p$. Il metodo di doppia pesata si usa nelle zecche, nei gabinetti di fisica e nei laboratorii di chimica per evitare qualunque errore dipendente dalla costruzione della bilancia.

Si può altresì avere il peso d'un corpo con una bilancia falsa a bracci disuguali, equilibrandolo alternativamente sull'uno e sull'altro guscio con pesi noti p, q. In tal caso si avrebbe $ap=bx$, ed $ax=bq$. Da queste due equazioni si ha colla moltiplicazione l'altra $xab^2=abpq$, da cui $x=\sqrt{pq}$, cioè *il peso del corpo è eguale alla radice quadrata del prodotto dei due pesi, che hanno servito ad equilibrarlo posto alternativamente sull'uno e sull'altro guscio.*

444. La *stadera* AB è una specie di bilancia a bracci disuguali (fig. 104), ossia il braccio BC conserva una lunghezza costante e porta il bacino E, ed all'altro AC si applica a differenti distanze dal

fulcro C il peso B detto *romano*. Sul bacino E si colloca la merce di cui si cerca il peso. Le stadere, che servono a pesare dei corpi di gran mole, non hanno d'ordinario il bacino E, ma i corpi stessi si attaccano al braccio più corto con una catena o con funi. È chiaro che, per la proprietà della leva di primo genere (§. 437), il romano Q, applicato al braccio più lungo CA della stadera ed a differenti distanze dal fulcro o asse di rotazione C, farà equilibrio con corpi di differente peso, posti sul bacino E od attaccati in qualsiasi maniera al braccio più corto CB. La stadera ha questo vantaggio sulla bilancia comune che col solo romano Q si ottiene il peso di molti corpi di differente mole, mentre colla bilancia sono necessari altrettanti pesi quanti sono i corpi da essere pesati.

Per intendere la costruzione della stadera, siano p, q, r, s, t ecc. i pesi successivi delle merci che si pongono sul bacino E, e il peso del romano sia Q, mentre a, b, c, d, e ecc. sono le distanze successive cui si mette il romano dall'origine delle divisioni per equilibrare quei pesi delle merci. Sia inoltre m l'intervallo che passa dall'asse di rotazione all'origine delle divisioni, n la lunghezza del braccio più corto ed M il momento esuberante quando alla stadera non vi è applicato il romano e non è carica di veruna merce. Ritenendo che il momento esuberante in tal caso sia dalla parte del bacino, si avranno pei successivi equilibrii le equazioni:

$$np+M=(m+a)Q$$
$$nq+M=(m+b)Q$$
$$nr+M=(m+c)Q$$
$$ns+M=(m+d)Q$$
$$nt+M=(n+e)Q.$$

Si sottragga ora la prima dalla seconda equazione, questa dalla terza, come pure la terza dalla quarta, ecc., e si avrà:

$$n(q-p)=(b-a)Q$$
$$n(r-q)=(c-b)Q$$
$$n(s-r)=(d-c)Q$$
$$n(t-s)=(e-d)Q.$$

Se i pesi posti sul bacino sono in progressione aritmetica, cioè sia $q=2p$, $r=3p$, $s=4p$, $t=5p$, ecc. le precedenti equazioni diventano:

$$np=(b-a)Q$$
$$np=(c-b)Q$$
$$np=(d-c)Q$$
$$np=(e-d)Q.$$

Da ciò si ricava che $b-a=c-b=d-c$ ecc. Si deduce quindi che le distanze dall'origine delle divisioni crescono del pari in progressione aritmetica; infatti facciasi $b-a=h$, sarà pure
$c-b=h$, $p-c=h$, $e-d=h$; ecc., e quindi
$b=a+h$, $c=b+h=a+2h$, $d=c+h=a+3h$, $e=d+h=a+4h$, ecc., vale a dire che essendo la prima distanza a, le successive sono nell'ordine seguente:

$$\begin{aligned} a&= \quad a \\ b&= \quad a+h \\ c&= \quad a+2h \\ d&= \quad a+3h \\ e&= \quad a+4h \end{aligned}$$

Riprendiamo la prima equazione superiore $nP+M=mQ+aQ$, e si avrà, per essere i pesi p, q, r ecc., al pari delle distanze a, b, c ecc. in progressione aritmetica, $2nP+M=mQ+2aQ$. Moltiplicando la prima di queste equazioni per 2 che dà $2nP+2M=2mQ+2aQ$ e sottraendo da essa la seconda si ottiene $M=mQ$. Da tutto quanto abbiamo esposto si deduce per la stadera: 1° *che il momento* M *del bacino scarico è eguale al momento* mQ *del romano applicato sul braccio più lungo al punto d'origine delle divisioni*; 2° *che mentre le distanze a, b, c, d, ecc., del romano dall'origine delle divisioni, crescono in progressione aritmetica, i pesi p, q, r, s, ecc. posti sul bacino pei successivi equilibrii crescono del pari nella stessa progressione.* Talchè, se nella stadera rappresentata nella figura 104 sia d l'origine delle divisioni, e le distanze dd', dd'', dd''' ecc. seguono la progressione aritmetica, 1 2, 3 ecc.; il romano Q applicato in d farà equilibrio col bacino E vuoto, applicato poscia in d' farà equilibrio con un peso 1 posto sul bacino, applicato in d'' l'equilibrio succederà con un peso 2, applicato in d''' con un peso 3, e così successivamente.

445. La stadera è molto in uso nelle contrattazioni sociali per pesare i corpi, presentando essa il vantaggio del solo romano per le diverse pesate. Si fanno altresì delle stadere che hanno applicato all'estremità del braccio più lungo un determinato contrappeso per far servire le divisioni ed il romano a pesate che sono multiple delle prime. All'estremità a della stadera AB (fig. 104) si può applicare un contrappeso tale, che il romano posto sulla divisione d' faccia equilibrio con 10 chilogrammi, mentre prima lo faceva con un solo, allontanato sino in d'' si equilibra con 20, fino in d''' con 30 chilogrammi, ecc. Le divisioni intermedie poi che davano, senza il

contrappeso, le frazioni di un solo chilogrammo, daranno col contrappeso le frazioni corrispondenti di 10 chilogrammi.

Il bilancino per verificare il peso delle monete d'oro, è fornito di tanti pesi quante sono le monete ricevute nel commercio. Si è cercato anch'esso di ridurlo alla stadera, con un corpo scorrevole sul braccio più lungo, il quale ha segnato con linee e dichiarazioni i diversi punti, cui si deve mettere il corsoio per equilibrare la moneta che si colloca sopra un piccolissimo bacino attaccato al braccio più corto. In parecchi stabilimenti pubblici e privati è in uso una stadera, che partecipa della bilancia; giacchè è formata d'una leva a bracci disuguali (fig. 105), nella quale invece del romano, è applicato al braccio più lungo un bacinetto su cui si mettono i pesi per l'equilibrio. In alcune trattare di seta dell'Alta Italia questa stadera ha applicato al braccio più corto una corba di vimini a fondo mobile e serve a pesare ed a distribuire date quantità di bozzoli alle filatrici durante il lavoro della giornata. Essa potrebbe essere adoprata con vantaggio per altri usi. Il rapporto fra i pesi e la merce è, come è chiaro, in ragion inversa dei due bracci della leva.

446. Si sono altresì costrutte delle *bilance o stadere a doppia leva*, le quali sono formate d'una leva di secondo genere, vicino al fulcro della quale vi è attaccato il bacino su cui si pongono le merci, che fanno l'ufficio della resistenza. L'estremità opposta al fulcro di questa leva è congiunta, mediante un'asticella, col braccio più corto d'una stadera, mentre a quello più lungo si applica il romano oppure si attacca un guscio per collocarvi i pesi necessari all'equilibrio. Si vede adunque che la bilancia o la stadera a doppia leva altro non è che un sistema di due leve, l'una di secondo genere e l'altra di primo genere, per cui è applicabile ad esse il teorema generale per l'equilibrio d'un sistema di leve (§. 441).

447. Per pesare dei grandi carichi è molto in uso la *bilancia a ponte*, la quale è formata d'un sistema di leve, che diversifica secondo le circostanze del luogo ed i bisogni del paese, ed eziandio secondo le norme adottate dalla convenienza e dalle idee, che hanno diretto il fabbricatore. Quattro leve di secondo genere *ao*, *bo*, *co*, *do* (fig. 106) formano col loro fulcri *a*, *b*, *c*, *d* i quattro angoli d'un rettangolo, e si riuniscono per l'altra estremità nel punto *o*, dove si appoggiano sopra un'altra leva di secondo genere *ef*, che ha il fulcro in *e*. Le leve sono fatte di robuste verghe di ferro e facilmente mobili sui loro rispettivi fulcri. Tutto questo collegamento di leve resta nascosto in una cavità appositamente costrutta con muratura. La

leva *ef* si estende col suo braccio sino in *f* al di fuori di quella cavità praticata nel suolo, e corrisponde coll'estremità al pavimento della stanza destinata al pesatore. Un'asticella di metallo *fg* congiunge questa leva di secondo genere *ef* con quella di primo genere *gh*, che è collocata in quella stanza, e porta all'estremità opposta *h* un bacinetto su cui si mettono i pesi per l'equilibrio, oppure si applica al braccio *hg* un romano, come nella stadera. In altrettanti punti *m*, *n*, *p*, *q* delle quattro leve, congiungentisi in *o*, si appoggia un robusto tavolato di rovere, che viene portato con piedi allo stesso livello del suolo e forma il ponte della bilancia, su cui si mettono i carichi, di cui si vuole conoscere il peso. È facile valutare il rapporto del carico o della resistenza, collocata sul ponte, col peso posto sul bacinetto *s* per l'equilibrio; giacchè questo carico si divide in quattro parti, ciascuna delle quali gravita rispettivamente sulle quattro leve sottoposte ed equilibrate dalla potenza in *o*, che diventa resistenza per la leva *ef*; e infine la potenza di questa diventa resistenza per la leva *gh*, cui è attaccato il bacinetto *s*. In tale valutazione basterà applicare il canone generale superiormente dimostrato per l'equilibrio d'un sistema di leve (§. 441).

448. La *carrucola*, conosciuta eziandio sotto i nomi di *puleggia* e di *troclea*, è una girella o rotella AB (fig. 107) di legno o di metallo, sulla cui periferia è praticata una scanalatura detta *gola* per ricevere una fune. Nel centro della girella è infissa una caviglia od asse, sostenuta dalle branche d'una incassatura CD detta la *staffa* della carrucola, nella quale la ruota gira.

Questa machina semplice è di due specie, la *carrucola fissa* detta anche *calcese*, e la *carrucola mobile* chiamata anche *bozzello*. Nella fissa la staffa è attaccata ad un punto stabile H e tiene fermo l'asse; e la potenza P e la resistenza R sono obbligate ai capi della fune, che si accavalla alla girella (fig 107). La carrucola è mobile quando alla staffa CD (fig. 108) è congiunta la resistenza, e la carrucola, nel caso di equilibrio, si muove colla resistenza medesima, per l'azione della potenza P applicata ad un capo della fune, che ha l'altro capo fisso al punto H.

449. Nella carrucola fissa, qualunque siano le direzioni delle due forze P, R (fig. 107), i raggi CA, CB, condotti dai punti A, B, risultano sempre normali ai tratti di fune tangenti in quei punti, e le due forze P, R si possono considerare come applicate ad una leva di primo genere ACB a bracci eguali. Per lo che, chiamando *r* il raggio della carrucola, sarà nel caso dell'equilibrio $rP = rR$, ossia

P=R, vale a dire che *nella carrucola fissa la potenza eguaglia la resistenza*. Trovasi nei gabinetti di fisica un apparato con cui si dimostra sperimentalmente che, nella carrucola fissa, la potenza eguaglia la resistenza, qualunque sia l'arco abbracciato dalla fune. Si ha altresì una girella divisa in due parti per meglio mostrare agli scolari che la carrucola in questo caso è una leva di primo genere.

Col parallelogrammo delle forze è facile determinare la pressione che sostiene l'asse della carrucola per l'azione della potenza P e della resistenza R, la qual pressione è massima quando le direzioni delle due forze o i due tratti di forze sono paralleli, perchè allora la loro risultante, che esercita il suo potere sull'asse, eguaglia la somma delle forze medesime.

Quantunque la carrucola fissa non presenti verun vantaggio alla potenza, essa però è utile nella meccanica per cambiare la direzione d'una forza od a renderne più comoda l'applicazione. Se, per esempio, si dovesse attignere con un secchio, appeso all'estremità d'una fune, dell'acqua da un pozzo, la potenza delle braccia dell'uomo dovrebbe agire dal basso all'alto, ciò che riesce incomodo e svantaggioso alla forza muscolare, dovendo essa sollevare eziandio il peso delle braccia; ma se la fune è accavallata ad una carrucola fissa, la forza eserciterà la sua azione dall'alto al basso, e il peso delle braccia aiuterà la forza medesima. Parimenti col mezzo della carrucola fissa una potenza agente orizzontalmente può produrre un'azione verticale e viceversa.

450. Analizzando il modo con cui si trasmette l'azione, si può considerare la carrucola mobile con una leva di secondo genere ACB, nella quale il punto B (fig. 108) è tenuto fisso dal tratto di fune attaccato ad H ed è il fulcro della leva; al centro C della rotella è applicata la resistenza R, mentre la potenza P esercita la sua azione all'estremità A del raggio CA. Per trovare le condizioni d'equilibrio della carrucola mobile qualunque siano le direzioni della fune, sia ACE la sezione di questa carrucola, fatta con un piano normalmente all'asse (fig. 109), R la resistenza, P la potenza. Questa potenza, stirando la fune, la tende egualmente in ogni sua parte; talchè il punto fisso, che reagisce alla trazione della potenza, si può considerare come una forza F applicata all'altro tratto della fune. Le due forze eguali P. F fanno equilibrio colla resistenza R, la quale per ciò può considerarsi come la loro risultante. Poniamo il caso che i due tratti di fune facciano fra loro qualunque angolo, è chiaro che, per l'equi-

Digitized by Google

librio, le direzioni di quelle forze P, F devono necessariamente incontrarsi in un punto D sulla direzione della loro risultante R, e che, per essere eguali, la risultante dividerà per mezzo l'angolo ADC fatto dalle medesime. Conducendo la sottesa AC dell'arco, abbracciato dalla fune, si avrà, per l'eguaglianza dei due triangoli ABD, CBD, la sottesa AC divisa per metà in B dalla direzione della resistenza R, e ad essa perpendicolare.

Per essere la carrucola mobile un vette del secondo genere, il cui fulcro è in C, la potenza P è applicata al punto A e la resistenza R al punto B metà della sottesa dell'arco abbracciato dalla fune; si avrà per l'equilibrio: P : R : : CB : CG (§. 436), essendo CG la perpendicolare abbassata dal fulcro C sulla direzione AD della potenza. La quale proporzione, per la similitudine dei triangoli CBO, CGA, si trasforma in quest'altra: P : R : : OC : AC; vale a dire che *nella carrucola mobile la potenza sta alla resistenza, come il raggio della carrucola alla sottesa dell'arco abbracciato dalla fune.*

Siccome poi AC=2CB=2 sen. COD=2 cos. CDO, dove l'angolo CDO=ADO è quello che fa la potenza colla resistenza, che diremo a; così si avrà, notando con r il raggio OC, la proporzione:

$$P : R : : r : 2 \cos. a, \text{ da cui si deduce } P = \frac{rR}{2 \cos. a}.$$

451. Nella carrucola mobile dunque *la potenza può essere eguale, maggiore o minore della resistenza.* Infatti nella proporzione P : R : : OC : AC, diventa AC=OC, se l'arco abbracciato dalla fune è di 60°, ed allora risulta P=R. Quando l'arco stesso è minore di 60°, è AC<OC e per conseguenza P>R; e se è maggiore di 60° risulta AC>OC e per conseguenza P<R. Che se l'arco diventa la semiperiferia o di 180°, allora è AC=2OC e P=$^1/_2$ R. In questo caso i tratti della fune riescono fra loro paralleli, e si ha il massimo effetto, perchè, ingrandendo l'arco al di là di 180°, la sottesa s'impiccolisce di nuovo. Dunque *nella carrucola mobile coi tratti della fune paralleli si ha il massimo effetto, e per l'equilibrio la potenza eguaglia la metà della resistenza.* Nelle scuole quest'ultima proposizione si dimostra coll'esperienza servendosi per potenza d'un peso, che si dirige dall'alto al basso con una carrucola fissa, la quale non cambia il momento della potenza stessa (§. 449).

452. Più carrucole combinate assieme, alcune fisse ed altre mobili o tutte mobili, formano *il sistema di carrucole.* Incominciamo a stabilire le condizioni d'equilibrio in un *sistema di carrucole*, le quali

hanno attaccato un capo della loro fune ad una traversa stabile AB (fig. 110), e l'altro capo è congiunto colla staffa della carrucola immediatamente superiore, mentre alle carrucole estreme vi sono applicate la potenza P e la resistenza R, cioè la potenza al capo della prima carrucola mobile e la resistenza alla staffa dell'ultima di esse carrucole. Essendo x la resistenza della I carrucola, essa fa le veci di potenza nella II, la cui resistenza detta y, vien ad essere la potenza nella III carrucola, che equilibra la resistenza R. Chiamando a, a', a'' gli angoli, che fanno le direzioni di ciascuna potenza colla rispettiva resistenza, e con r, r', r'' i raggi delle carrucole, si hanno, per l'equilibrio, le equazioni (§. 450)

$$P=\frac{rx}{2\cos.a}\,;\quad x=\frac{r'y}{2\cos.a'}\,;\quad y=\frac{r''R}{2\cos.a''}.$$

Dalle quali si deduce

$$P=\frac{rr'r''R}{2\cos.a.\,2\cos.a'.\,2\cos.a''}.$$

Se il sistema è disposto in modo che i tratti di ciascuna fune riescono paralleli, allora il coseno diventa eguale al raggio, e l'equazione si riduce a $P=\frac{R}{2.^3}$. Che se è n il numero delle carrucole, si avrà in generale $P=\frac{R}{2.^n}$. Dunque, *nel sistema di carrucole mobili a funi distinte ed a tratti paralleli, la potenza eguaglia la resistenza divisa per una potenza di 2 indicata dal numero delle carrucole.*

Dalla detta equazione si ricava $n=\frac{\log.\,R-\log.\,P}{\log.\,2.}$, che fa conoscere il numero di carrucole da impiegarsi per equilibrare con una potenza P una data resistenza R.

453. Il sistema di carrucole precedente, fatto di carrucole mobili con funi distinte, non è molto in uso nelle arti, adoprandosi in esse il sistema misto di carrucole fisse e mobili, ed a fune continua. Questo sistema è conosciuto sotto il particolar nome di *taglia* o *polispato*. Esso può essere fatto in due maniere differenti: 1° le carrucole fisse e le mobili formano due gruppi distinti, ciascuno dei quali ha la propria incassatura, dove le carrucole sono collocate l'una al disotto dell'altra cogli assi fra loro paralleli (fig. 111); 2° le carrucole fisse come pure le mobili sono disposte alla stessa altezza coi loro assi sulla medesima retta (fig. 112). Tanto nell'una che nell'altra disposizione le condizioni d'equilibrio sono le medesime.

Digitized by Google

Nei due sistemi rappresentati nelle figure 111 e 112 la resistenza R, attaccata alla taglia mobile, si dividerà sulle carrucole componenti la taglia medesima, per cui chiamando x, y, z queste parti, sarà $x+y+z=R$. Riteniamo le precedenti denominazioni r, r', r'' pei raggi delle carrucole ed a, a', a'' per gli angoli che in generale fanno i tratti della fune colla direzione della resistenza. Si avranno le equazioni

$$P=\frac{rx}{2\cos.a},\quad P=\frac{r'y}{2\cos.a'},\quad P=\frac{r''z}{2\cos.a''};$$

giacchè la fune, essendo continua, riesce egualmente tesa in ogni suo tratto e per ogni carrucola mobile la potenza è sempre P. Ricavando da queste equazioni i valori di x, y, z e ritenendo che la somma di queste resistenze parziali costituisce la resistenza totale R, si avrà $R=2P\left(\frac{\cos.a}{r}+\frac{\cos a'}{r'}+\frac{\cos.a''}{r''}\right)$. Nel caso delle funi parallele sarà $P=\frac{R}{2\times 3}$, e se il numero delle carrucole mobili è n, $P=\frac{R}{2n}$. Dunque *nella taglia a tratti di fune paralleli la potenza eguaglia la resistenza divisa pel doppio del numero delle carrucole mobili*. Dall'ultima equazione poi si ha $n=\frac{R}{2P}$, che fa conoscere il numero delle carrucole, che deve avere la taglia per equilibrare colla potenza P la resistenza R.

454. Un altro sistema di carrucole può essere formato colla combinazione rappresentata nella fig. 113, dove la resistenza R è sostenuta da un capo della fune distinta di ciascuna carrucola. Chiamando x, y, z la tensione di ciascuna fune e ritenendo le denominazioni precedenti pei raggi delle carrucole e per gli angoli che ciascun tratto di fune fa colla direzione della fune applicata alla staffa, si ha per la prima fune $x=P$. Nella prima carrucola mobile la resistenza eguaglia la tensione y della seconda fune, e perciò sarà $P=\frac{ry}{2\cos.a}$ da cui $y=\frac{2P.\cos.a}{r}$. La seconda carrucola mobile dà l'equazione $y=\frac{r'z}{2\cos.a'}$, da cui si ricava $z=\frac{4P.\cos.a.\ \cos.a'}{r\,r'}$. Siccome poi è $x+y+z=R$; così si avrà $P+\frac{2P.\cos.a}{r}+\frac{4P.\cos.a.\ \cos.a'}{rr'}=R$, da cui si deduce $P=\frac{rr'R}{rr'+2r'\cos.a+4\cos.a.\ \cos.a'}$. Dando alle carru-

456. Il tornio, qualunque sia la sua forma, se ben si consideri, si risolve in fondo in una leva di primo genere. Imperocchè tutte le sue parti sono formate di solidi rigidi, per cui la potenza e la resistenza tendono a far girare intorno ad un asse in opposto verso il subbio; la prima forza con un braccio eguale al raggio della ruota o al braccio del manubrio, oppure alla lunghezza della manovella; la seconda con un braccio eguale al raggio del cilindro. Detto perciò m la lunghezza del raggio della ruota, o del braccio del manubrio, o della manovella, ed n il raggio del cilindro, sarà per l'equilibrio fra la potenza e la resistenza $mP=nR$; da cui si ricava $P : R :: n : m$; cioè *in qualunque specie di tornio la potenza sta alla resistenza come il raggio del cilindro al raggio della ruota o alla lunghezza del manubrio, o della manovella*. Se la fune ha una grossezza sensibile, il raggio del cilindro devesi aumentare, per l'equilibrio, del raggio della fune. Nell'uso del tornio la fune si avvolge sul subbio, e dopo un certo numero di giri, forma su di esso un primo strato di fune, che ingrossa il cilindro. In questo caso per l'equilibrio la lunghezza del raggio del cilindro devesi aumentare del diametro della fune. Per evitare l'ingrossamento del cilindro in causa dello strato di fune, si suole questa avvolgere previamente al subbio per alcuni tratti e tenerla tesa da un peso o da un uomo in modo che, mentre si avvolge dalla parte della resistenza, si svolge da quella opposta. Per l'*albero ripiegato* od *asse a gomito pq* (fig. 116), dove la potenza è applicata ad uno dei gomiti a, mentre la resistenza è connessa con l'altro b, si determinano le condizioni d'equilibrio come nel tornio.

Nel tornio come pure nella burbola, nel verricello e nell'argano, il raggio del cilindro è sempre minore del raggio della ruota, o della lunghezza della manovella e del manubrio; per ciò tale machina è vantaggiosa per essere la potenza in tutti quei torni sempre minore della resistenza. È facile altresì riconoscere che le pressioni sopportate dai due appoggi di tutte queste specie di torni eguagliano la somma della potenza e della resistenza.

457. Il tornio si può combinare con una carrucola mobile, a cui si attacca la resistenza R, formandone il subbio di due parti l'una più grossa dell'altra, alle quali si avvolge in opposto verso la fune pei due capi (fig. 117). Questo tornio chiamasi *verricello chinese*. Per valutare in esso le condizioni d'equilibrio, siano r, r' i raggi dei cilindri M, N, ed m la lunghezza del manubrio cui è applicata la potenza. La tensione di ciascuno dei due tratti della fune è eguale $^1/_2$ R;

quella del tratto appartenente ad M contrasta l'azione della potenza P, mentre la tensione del tratto avvolto ad N la favorisce. La tensione del primo tratto ha per momento $^1/_2$ Rr, e quella del secondo tratto $^1/_2$Rr'. Il momento della resistenza sarà dunque $^1/_2$R (r—r'), mentre quello della potenza è mP. Si avrà dunque per l'equilibrio mP=$^1/_2$R (r—r'), ossia P : R : : $^1/_2$(r—r') : m; vale a dire *nel verricello chinese la potenza sta alla resistenza, come la semidifferenza dei raggi delle due porzioni del subbio sta alla lunghezza del manubrio.*

458. Alla classe dei torni appartengono i *timpani* rappresentati nelle figure 118 e 119, conosciuto il primo sotto il nome di *ruota a pressione*, e il secondo di *timpano a tamburo*. In uno, l'uomo esercita la pressione sulla ruota del tornio col piede (fig. 118); nell'altro tende a far girare la ruota col peso del proprio corpo (fig. 119). Dato che il piano orizzontale, su cui è posto l'uomo nella ruota a pressione (fig. 118), passi col suo prolungamento pel centro della ruota, e che sia *a* l'arco *pq* d'elevazione del piede, è facile dimostrare che, fra la potenza P o la pressione esercitata dall'uomo e la resistenza R, vi ha la relazione mP cos. *a*=nR, essendo *m*, *n* i raggi della ruota e del cilindro del tornio. Nel timpano a tamburo (fig. 119), detto *a* l'arco d'elevazione *pq* e P il peso del corpo dell'uomo, si ha per l'equilibrio mP sen. *a*=nR.

Nel *timpano a tamburo* (fig. 119) può essere impiegato come motore un animale qualunque, che agisce in virtù del peso del proprio corpo come l'uomo. Ma per esercitare più comodamente l'azione, è molto opportuna la *ruota a marcia* (fig. 120), nella quale il cilindro del tornio è inclinato all' orizzonte sotto l'angolo misurato dall'arco *pq*. Un bue od un cavallo, stando alla mangiatoia, fa girare col peso del proprio corpo la ruota ed, arrampicandosi continuamente sul piano della medesima per le traverse di cui è munita, si mantiene nella parte più elevata della machina per rendere continua l'azione del suo peso. Chiamando *a* l'angolo d' inclinazione dell'albero all'orizzonte, misurato dall'arco *pq*, l'animale si trova alla sommità d'un piano inclinato sotto un angolo complemento di *a*, quindi tende a cadere per quel piano, e nel nostro caso a far girare la ruota colla gravità relativa (§. 325) P.sen. (90°—*a*), ossia P.cos.*a*. Se si noti quindi con *m* il raggio della ruota e con *n* quello del cilindro di questa specie di tornio, si avrà per l'equilibrio, fra la potenza P e la resistenza R, la relazione mP.cos.*a*=nR.

459. Il tornio ha un numero grandissimo d'applicazioni alle arti

ed ai bisogni della società. La burbola e il verriocllo (fig. 114) servono per attignere acqua dai pozzi e in generale per innalzare dei pesi; l'argano (fig. 115) per fare scorrere sopra curri o cilindri e sopra sfere di legno o di ferro dei massi molto pesanti, come statue colossali, colonne di pietra e simili. Il grandioso obelisco di Sisto V a Roma, e l'enorme masso di granito che sostiene la statua di Pietro I a Pietroburgo, si sono strascinati per mezzo dell'argano sopra sfere di ferro, che si movevano in apposite scanalature. L'argano è di grand'uso nella marina.

Una delle applicazioni più ingegnose del tornio è quella di averne riuniti parecchi per formare un *sistema di torni*, colle *ruote dentate* (fig. 121), o colle *ruote a cingoli* (fig. 122). Nel primo sistema ciascun tornio ha il subbio molto corto, come sono quelli *a*, *b*, *c* delle ruote A, B, C (fig. 121). In questo il cilindro o la ruota o l'uno e l'altra sono forniti di denti, e il primo prende il nome di rocchetto. Alla prima ruota A è applicata la potenza P, e i denti del suo rocchetto *a* imboccano con quelli d'una seconda ruota B, il cui rocchetto *b* si congiunge mediante i suoi denti cogli altri della terza ruota C, il cui rocchetto *c* sostiene per mezzo d'una fune la resistenza R. Si potrebbe munire il rocchetto *c* di denti per farlo comunicare con una quarta ruota dentata, e così di seguito secondo il bisogno. Nel secondo sistema i cilindri sono pure molto corti e chiamansi rocchetti; ed alla prima ruota A (fig. 122) si applica la potenza P mentre intorno al rocchetto *a* si avvolge una fune oppure una coreggia o cinghia continua di cuoio che va strettamente ad abbracciare o cingere una seconda ruota B, il cui rocchetto *b* comunica colla ruota C, che col rocchetto *c* porta la resistenza R. Si potrebbe anche con un'altra coreggia o fune continua avvolta al rocchetto *c* introdurre nel sistema un quarto tornio, ecc. Giova l'avvertire che secondo la forma del cingolo deve variare la forma delle periferie delle ruote e dei rocchetti, a cui esso si avvolge. Se è una fune rotonda, bisogna che la periferia sia munita d'una gola, nella quale si adatti la fune stessa, come nella carrucola (§. 448); se il cingolo consiste in coreggie di cuoio piane, le periferie delle ruote e dei rocchetti non hanno veruna scanalatura, ma devono avere abbastanza larghezza per potervisi adattare comodamente il cingolo.

Nel sistema di torni, posto in opera in alcune machine, la ruota ed il rispettivo rocchetto sono bensì situati sullo stesso asse, ma disgiunti fra loro, ed inoltre l'uno e l'altro sono formati di due

Digitized by Google

dischi riuniti fra loro con traverse che fanno l'ufficio dei denti, come sono la ruota AB e il rocchetto CD (fig. 123). La prima si chiama così formata *ruota a lanterna*, ed il secondo *rocchetto a lanterna*. Alle volte le ruote ed i rocchetti non hanno i denti sul prolungamento dei loro raggi, ma all'intorno sulla superficie piana perpendicolarmente ai raggi stessi. In tal caso si hanno i *rocchetti* e le *ruote a corona*, come è la ruota EF, la quale coi suoi denti imbocca colle traverse della ruota a lanterna AB. Inoltre il cingolo, che si avvolge al rocchetto BD, è composto di due catene disposte parallelamente fra loro, che portano i pesi da sollevarsi e si appoggiano sulle traverse del rocchetto.

460. In tutti questi sistemi di torni è facile stabilire le condizioni d'equilibrio fra la potenza P e la resistenza R. Si è veduto che il tornio altro non è che una leva di primo genere (§. 456); d'altronde si sanno valutare le condizioni d'equilibrio in un sistema di leve (§. 441): per ciò si avrà, chiamando m, m', m'' i raggi delle ruote A, B, C (fig. 121) ed n, n', n'' i raggi dei rispettivi rocchetti, l'equazione d'equilibrio $mm'm''P=nn'n''R$, ossia $P : R :: nn'n'' : mm'm''$; cioè *nel sistema di torni la potenza sta alla resistenza come il prodotto dei raggi dei rocchetti sta al prodotto dei raggi delle ruote*. Lo stesso è del sistema di torni colle ruote a cingoli (fig. 122).

Nel sistema di torni rappresentato nella fig. 123 notando con R la somma dei pesi g, g, g delle cassette attaccate alla catena continua, che cinge il rocchetto a lanterna CD, e P la potenza applicata all'estremità della stanga NM infissa nell'albero EG, o nel cilindro del tornio EG, la quale potenza è d'ordinario un cavallo attaccato al bilancino H, ed inoltre m la lunghezza della stanga NM contata dall'asse dell'albero, m' il raggio della ruota a lanterna AB, ed inoltre n il raggio del rocchetto a lanterna CD, sarà $mm'P=nn'R$. In questo sistema di torni le cassette g, g, g attingono l'acqua dal pozzo R, e la portano nelle cassette g sul rocchetto CD, da dove rovesciandosi la versano in un canale, per cui viene condotta al luogo destinato.

I sistemi di torni colle ruote dentate e colle ruote a cingoli hanno un'applicazione continua nella costruzione delle machine ad uso delle arti e dei bisogni della società, di cui faremo qualche cenno nella seguente sezione, dove si parla dei solidi in movimento.

461. La quarta machina semplice è il *piano inclinato*, il quale d'ordinario si presta nella mecanica per elevare dei corpi con una forza minore della gravità assoluta. Abbiasi da portare all'altezza AB

(fig. 121) il masso R: è chiaro che, se non s'impiegasse qualche macchina, si richiederebbe per tale effetto una potenza P eguale alla resistenza R; ma servendosi del piano inclinato si fa l'elevazione con una forza minore. Sia G infatti il centro di gravità del masso, o in generale il punto dove è concentrata tutta la resistenza R, ed agisca la potenza P in qualunque direzione GD, facendo col piano l'angolo GDC=b; si tratta di determinare le condizioni d'equilibrio fra la potenza P e la resistenza R.

Si rappresenti la potenza P con una linea e la si decomponga in due forze, l'una perpendicolare e l'altra parallela al piano AC. È chiaro che la sola seconda componente farà equilibrio allo sforzo che fa la resistenza R a cadere lungo il piano. Questa componente è espressa da P cos. b, e deve per l'equilibrio essere eguale alla gravità relativa rappresentata, come sappiamo, da R.sen.a (§. 325) essendo a l'angolo d'inclinazione del piano. Si avrà dunque per l'equilibrio l'equazione P.cos. b=R. sen. a, ossia P : R : : sen. a : cos. b. Dove, se la potenza P agisce parallelamente al piano AC, l'angolo b svanisce e il coseno diventa eguale all'unità, per cui in tal caso si ha P : R : : sen. a : 1, ossia P : R : : AB : AC : cioè *quando l'azione della forza è parallela al piano inclinato, la potenza sta alla resistenza, come l'altezza alla lunghezza del piano medesimo.* Che se invece la potenza è diretta parallelamente alla base BC del piano, allora è b=a, e perciò P : R : : sen.a : cos.a, ossia P : R : : AB : BC, cioè *quando l'azione della forza è parallela alla base del piano, la potenza sta alla resistenza come l'altezza alla base del piano medesimo.* L'azione più vantaggiosa della potenza si ha quando essa agisce parallelamente al piano AC, perchè allora l'altezza AB (cateto) è sempre minore della lunghezza AC (ipotenusa). — Questi due casi particolari si sogliono verificare nelle scuole coll'esperienza, aggiungendo alla sommità del piano un'asticella assicurata in A, che si può innalzare ed abbassare e che porta una carrucola fissa mobilissima. A questa si accavalla un filo flessibilissimo, da cui pende il grave P', rappresentante la potenza, mentre la resistenza è un cilindro R' attaccato all'altro capo del filo mediante una staffa.

La pressione poi esercitata dalla resistenza R sul piano sappiamo essere R.cos.a (§. 325), mentre quella prodotta dalla potenza P si trova espressa da P.sen.b; talchè il piano sopporterà in totalità la pressione R cos. a+P.sen.b, dove nel caso di b=o, o dell'azione della potenza parallela al piano inclinato, è sen.b=o, e quindi la pressione si riduce soltanto ad R.cos.a.

Noi abbiamo supposto per resistenza il peso d'un corpo, e quindi ch'essa abbia la direzione verticale: si può però trovare facilmente la relazione d'equilibrio fra la potenza e la resistenza nel caso che quest'ultima abbia qualunque altra direzione differente dalla verticale.

462. Il *cuneo*, o *biella*, è un prisma triangolare isoscele terminato da due piani inclinati, che può considerarsi come un *sistema di piani inclinati*. Il cuneo serve d'ordinario a spaccare ed a spartire i corpi solidi. Lo spigolo CD, dove si riuniscono i due piani inclinati pei loro angoli (fig. 125), dicesi *tagliente* o *filo* del cuneo; le due facce adiacenti AFDC, BEDC chiamansi i *lati* o meglio i *fianchi* del cuneo, e la faccia ABEF opposta al tagliente si denomina la *testa* del cuneo. Se con un piano perpendicolare al filo CD si tagli il cuneo, risulterà per sezione un triangolo isoscele eguale ad ABC, nella quale le intersecazioni coi due piani inclinati danno le due linee AC, BC, che si prendono a rappresentare i lati del cuneo, mentre coll'intersecazione AB si rappresenta la testa del medesimo. La retta HC poi, condotta dalla metà della testa AB al punto C del tagliente, prende il nome di *asse*, che divide la sezione del cuneo isoscele in due triangoli rettangoli eguali.

Per trovare le condizioni d'equilibrio fra la potenza, che tende ad introdurre il cuneo nel corpo da essere spaccato, e la resistenza che il corpo stesso oppone alla spaccatura, prendiamo la sezione ABC del cuneo isoscele (fig. 126) che è premuta da una potenza per farsi strada fra il solido, vincerne la coesione e spartirlo in due. Dai punti di contatto delle facce del cuneo colle parti della fenditura, si conducano due perpendicolari ai lati del medesimo, le quali rappresentino due resistenze opposte alla potenza del corpo. Queste resistenze, nel caso dell'equilibrio, dovranno avere una risultante ed incontrarsi quindi in un punto h dell'asse HC, secondo cui si suppone la potenza P direttamente applicata sul mezzo della testa del cuneo. Si compisca il parallelogrammo o il rombo $hFfc$ e si avrà la diagonale hc, che sarà la risultante delle due resistenze eguali, a cui si opporrà per l'equilibrio la potenza P e dovrà essere ed essa eguale. Ora, per la similitudine dei triangoli Foh, CHA, si ha una proporzione, dalla quale si ricava $oh = hF \cdot \frac{AH}{AC}$. Parimenti, pei triangoli simili foo, CHB ossia CHA, si ha $oc = hf \cdot \frac{AH}{AC}$. Sommando queste due equazioni e ritenendo che $oh + oc = hc = P$, e che

$hF+hf=R$, si ha $P=R.\frac{AH}{AC}$, ossia P : R : : AH : AC. Ciò significa che *nel cuneo isoscele per l'equilibrio la potenza sta alla resistenza come la metà della testa al lato del cuneo.*

La dimostrazione si può estendere ad un cuneo scaleno. Se esso è equilatero, allora risulta $AH=\frac{AC}{2}$, e per conseguenza si ha P : R : : 1 : 2, cioè *nel cuneo equilatero la potenza e la resistenza hanno il rapporto di* 1 *a* 2.

Si è imaginato un apparecchio per dimostrare sperimentalmente nelle scuole la condizioni d'equilibrio pel cuneo. In esso il solido da spartirsi consta di due cilindri, che sono tenuti aderenti da funicella aggravate da pesi, i quali rappresentano le due resistenze. I due piani inclinati del cuneo sono congiunti a mastietatura in C e posti fra loro sotto un dato angolo mediante un arco graduato, che riunisce i due estremi A, B dei piani medesimi. La potenza consiste in un dato peso attaccato con una funicella al tagliente del cuneo. Si dispone l'apparato coi pesi determinati dalla teoria, e si osserva se l'esperienza verifica una tale disposizione. L'apparato è soggetto di troppo agli attriti per servire di dimostrazione al principio dedotto dalla teoria; tutto al più serve a dar un'idea della maniera d'azione di questa machina.

463. Le volte a gli archi degli edifizii sono fatte di mattoni o di pietre che hanno la forma di cuneo. La teoria del cuneo dichiarata serve di direzione all'ingegnere od all'architetto per calcolare la stabilità di quella parte di fabbricato.

Osserviamo altresì che le condizioni d'equilibrio stabilite per questa machina danno ragione dell'efficacia degli strumenti e delle armi da punta o da taglio, le quali sono tanto più atte all'ufficio cui sono destinate, per internarsi nei corpi colla minor forza possibile, quanto è più piccola la testa, e lungo il lato del cuneo di cui hanno la forma. Così i chiodi a gli aghi sono conficcati tanto più facilmente in un corpo quanto più sono acuminati; le spade, i coltelli, i rasoi, le scuri, le pialle sono tanto più taglienti, quanto più sono affilati. Lo stesso si dica del coltello pressoio, del tagliapaglia, della tenaglia dei fabbriferrai, che sono altrettante combinazioni del cuneo colla leva.

464. La *vite* è un'altra machina semplice, le cui condizioni d'equilibrio dipendono dai principii stabiliti pel piano inclinato. Consta quest'utile ordigno d'un cilindro massiccio AB (fig. 127), e d'un

corpo prismatico CD fornito d'un foro cilindrico. Intorno alla superficie convessa del cilindro si avvolge un'elica in rilievo detta *pane della vite*, e nella superficie concava del foro del corpo prismatico sono scavate delle scanalature spirali capaci a ricevere esattamente il pane della vite. L'intervallo uniforme, che conserva l'elica nell'avvolgersi attorno al cilindro, chiamasi *passo della vite*. Il cilindro poi appellasi *mastio*, e il corpo prismatico *madrevite* o *chiocciola*, la quale talvolta, secondo la forma che le vien data, prende il nome di *galletto* o *dado della vite*.

La vite può usarsi in tre modi differenti: 1° Tenendo fissa la chiocciola DC (fig. 127) e facendo girare il mastio AB con una potenza P applicata all'estremità della manovella EF. Con questa disposizione la vite può servire a sollevare la resistenza R, oppure a premere contro il piano stabile MN o a schiacciare le materie, che si collocassero sul piano medesimo coprendole con un robusto tavolato mobile. L'opposizione, che le materie oppongono al mastio nella pressione o nello schiacciamento, rappresenta la resistenza, con cui deve far equilibrio la potenza; 2° Assicurando stabilmente il mastio AB (fig. 128) e far girare la madrevite CD colla potenza P agente per mezzo d'una manovella. In tal modo la madrevite CD preme sulla tavola EF che tende a schiacciare le materie, che pongonsi sul tavolato BB al disotto di essa; 3° Infine col disporre in modo il mastio AB (fig. 129) che possa prendere un moto di rotazione intorno a due perni ed abbassare così la chiocciola C per premere contro un tavolato collocato al disotto di essa.

465. Si è detto che le condizioni d'equilibrio della vite dipendono dalla teorica del piano inclinato. Per comprendere ciò, imaginiamo un cilindro ABDC (fig. 130) attorno al quale si avvolgano i triangoli o piani inclinati eguali BHP, PIQ, QLR, RMS, SNT, TOD, ciascuno dei quali abbia per base le linee BH, PI, QL, RM, SN, TO, equivalenti in lunghezza alla periferia del cilindro, e le ipotenuse HP, LQ ecc. formino un orlo rilevato o risalto. È chiaro che, nell'avvolgimento di quei triangoli, il punto H verrà a coincidere con B, I con P, L con Q ecc. e che, formando ciascuno coll'orlo sporgente una spira, tutte queste spire si riuniranno e comporranno attorno al cilindro un'elica continua rilevata attorno al cilindro da B coincidente con H sino in D. L'elica in tal modo formatasi costituirà il pane della vite e trasformerà il cilindro ABDC in un mastio di quella machina. Il passo poi della vite eguaglierà l'altezza BP, PQ, QR ecc., di ciascun piano inclinato e la base BH, PI, QL ecc., la periferia del cilindro.

Digitized by Google

Dunque nella vite il *pane* è la *lunghezza* in rilievo d'un piano inclinato, il *passo* ne è l'*altezza*, mentre la *periferia* del cilindro eguaglia la *base* del piano medesimo.

Quando si fa agire la vite, per produrre qualcheduno degli effetti precedentemente contemplati (§. 464), si ha col girare il mastio (fig. 127) che la potenza P tende a far salire lungo un piano inclinato il corpo, esercitando la sua azione parallelamente alla base del medesimo; si opera lo stesso quando la potenza P è applicata alla chiocciola (fig. 128), tendendo pure nell'egual maniera a sollevare il corpo lungo il piano inclinato, e succede egualmente quando la potenza P è applicata al mastio (fig. 129) e tende a farla girare su due perni fissi. Nel primo caso (fig. 127) la potenza P fa equilibrio col peso del corpo o resistenza R che tende ad innalzare, oppure coll'opposizione dell'oggetto che tende a schiacciare, secondo che la machina si adopera come *vite di chiamata* o *vite di pressione*. Nel secondo caso (fig. 128) la potenza P fa equilibrio colla resistenza opposta alla chiocciola dall'oggetto che preme e tende a schiacciare. Infine nel terzo caso (fig. 129) la potenza P si equilibra colla resistenza che l'oggetto oppone alla chiocciola, la quale lo comprime e tende a schiacciarlo. Siccome in ogni caso la potenza agisce parallelamente alla base del piano inclinato, di cui si compone la vite; così, per essere $2\pi a$ questa base dove a è il raggio del cilindro del mastio, si avrà per le condizioni d'equilibrio nella vite la proporzione (§. 461):
$x : R :: n : 2\pi a$ ossia $2\pi ax = nR$, dove x è la potenza ed n è il passo della vite, o l'altezza del piano inclinato. Questo vale nel caso che la potenza x sia applicata direttamente alla circonferenza del mastio o del foro della chiocciola per far girare l'uno dentro l'altra, e far equilibrio quindi colla resistenza, che tende a muovere il corpo sul piano inclinato in opposizione allo sforzo della potenza. Ma se questa agisce con una manovella di lunghezza m contata dall'asse del cilindro, e connessa col mastio (fig. 127), oppure colla chiocciola (fig. 128); allora la potenza P esercita la sua azione sul piano inclinato della vite non col braccio a, ma con l'altro m, e per ciò, dovendo il momento di x e di P essere eguali, perchè ambedue equilibrano la resistenza, sarà $ax = mP$, e l'equazione superiore, sostituendo ad x questo valore, diverrà $2\pi mP = nR$, ossia $P : R :: n : 2\pi m$. In quest'espressione $2\pi m$ è la circonferenza descritta dalla potenza in un'intera rivoluzione; si ha quindi in generale che *nella vite per l'equilibrio la potenza sta alla resistenza, come il passo della vite alla circonferenza descritta dalla potenza stessa.*

In una scuola per la teoria della vite è necessario di avere un cilindro con piani inclinati a lunghezze in rilievo, formati di materia flessibile, per mostrare il modo di generazione di quella machina. La relazione per l'equilibrio fra la potenza e la resistenza vale qualunque sia la forma del pane della vite, sia esso un' elica in rilievo triangolare o quadrangolare, giacchè in ogni caso si risolve sempre in un piano inclinato.

466. La vite è d'un uso continuo nella mecanica e nelle arti. Noi abbiamo indicato le tre maniere, cui si riduce la sua azione e gli effetti differenti prodotti (§. 464). In generale s'apprende dall'equazione d' equilibrio precedente $2\pi mP=nR$, che nella vite si impiegherà una potenza tanto più piccola P per equilibrare una data resistenza R, quanto più è piccolo il passo n della vite, ossia quanto più la vite ha le spire fine, e quanto più è lunga la manovella m. Nei comuni torchi ad olio, nel conio delle monete e in molte machine consimili, è il mastio che si fa rivolgere nella chiocciola tenuta fissa (fig. 127); nel comune torchio da vino e in moltissimi altri casi il mastio sta fisso e si fa rivolgere la madrevite (fig. 128). In generale negli strettoi, pressoi e simili si usa ora l'una ora l'altra maniera di adoperare la vite. Nel *cavatappi* semplice e nel *turabottiglie* si fa girare il mastio tenendo fissa la chiocciola. Nel *cavatappi a doppia vite*, dapprima gira il mastio centrale, e giunto questo al suo termine, gira la chiocciola, che diventa mastio per rispetto ad una seconda chiocciola. Col primo movimento la spira del cavatappi è introdotta nel sovero del turacciolo, col secondo il turacciolo viene levato dalla bottiglia.

La vite si è applicata nelle arti per praticare delle minute divisioni, e si è veduto come su di essa è fondata la vite micrometrica, di cui si è altrove parlato (§. 143).

467. La vite si è combinata anche col tornio a ruota dentata formando la machina conosciuta sotto il nome di *vite perpetua*. Essa si compone del mastio di vite AB (fig. 131), il quale col pane s'interna negli intervalli dei denti della ruota EF d'un tornio, al cui cilindro C è attaccato con una fune la resistenza R, mentre la potenza P è applicata al manubrio ab, col quale tende a far girare il mastio di vite AB. Chiamando x lo sforzo, che dalla resistenza si esercita coi denti della ruota sul pane della vite, m la lunghezza ab del braccio del manubrio, ed n il passo della vite, sarà per l'equilibrio (§. 465) $2\pi mP=nx$. Ora x diventa pel tornio la potenza, nel quale detti m', n' i raggi della ruota e del cilindro, sarà (§. 456), per l'equilibrio

$m'\varpi = n'R$. Sostituendo il valore di ϖ, dedotto da quest'equazione, in quella precedente si ottiene $2\pi mm'P = nn'R$, ossia $P : R :: nn' : 2\pi mm'$, cioè *nella vite perpetua la potenza sta alla resistenza, come il prodotto del passo della vite pel raggio del rocchetto sta al prodotto della lunghezza della manovella pel raggio della ruota moltiplicato pel doppio del rapporto del diametro alla periferia del cerchio.*

SEZIONE II.

Della dinamica dei solidi o stereodinamica.

468. Nella stereodinamica considereremo dapprima i solidi separati gli uni dagli altri e fra loro indipendenti, i quali, venendo sollecitati da forze, si muovono e s'incontrano con altri nel loro passaggio dall'uno in altro luogo dello spazio. Passeremo in seguito a parlare del moto dei solidi collegati in modo da costituire qualcheduna delle machine, di cui ci siamo occupati nella precedente sezione. Infine ci faremo ad esaminare le resistenze e gli ostacoli, che in natura si oppongono al movimento dei solidi, dando le norme per valutarle nei differenti casi.

Allorchè i corpi solidi sono sollecitati soltanto dalla forza di gravità inerente alla loro natura, come pure a tutti gli altri corpi, essi seguono, al pari dei fluidi liquidi ed aeriformi, alcune leggi generali, che si sono dichiarate nella prima parte di questi Elementi. Dobbiamo qui considerare il caso dell'azione di qualche forza estrinseca, la quale produce nei solidi dei fenomeni particolari di moto, attinenti alla loro fisica costituzione, quando si scontrano o sono previamente collegati ad altri solidi.

Rammenteremo che i solidi, al pari dei fluidi liquidi ed aeriformi, essendo sollecitati da una forza impressa, dovrebbero conservare il loro movimento, finchè un'altra forza si opponesse al moto medesimo (§. 216); ma per gli ostacoli, ch'essi trovano in natura, il moto viene ad ogni istante diminuito e ben presto del tutto estinto (§. 222). Per ora faremo astrazione da questi ostacoli al moto, e considereremo i solidi come animati da forze, per le quali passano dallo stato di quiete a quello di moto ed all'inverso.

469. I solidi possono essere posti in movimento separati gli uni dagli altri per un intervallo qualunque e poscia scontrarsi fra loro, oppure con un fluido: nel primo caso ha luogo l'urto e la percossa (§. 228): nel secondo il solido prova un ostacolo, che si

chiama *resistenza dei mezzi*. Questo secondo caso sarà considerato nei capitoli seguenti, dove si parlerà dei fluidi. Nello scontro dei solidi bisogna aver riguardo alle loro qualità fisiche, per cui possono accadere due casi ben distinti. Il primo succede quando i corpi siano *inelastici*, cioè perfettamente molli o duri, in modo che non si sviluppi veruna intrinseca forza. Il secondo poi accade quando i corpi sono *elastici*, per cui all'atto dell'urto o della percossa ha luogo una pressione e si sviluppa in essi la forza d'elasticità (§. 165). Nel caso dei solidi inelastici succede una semplice comunicazione di moto, su di cui ci siamo già intrattenuti nella fisica generale, come spettante a qualunque siasi corpo solido, liquido od aeriforme (§. 229). Ci rimane qui dunque a considerare il caso dello scontro di corpi solidi elastici. Un solido di massa M è costituito da un sistema di molecole o punti materiali, le quali ricevono la velocità V impressa nel corpo, per cui ne nasce le quantità di moto MV, che riesce la risultante delle forze parallele impresse alle molecole medesime, dirette nello stesso verso per cui si muove il corpo. Il punto dove s'intende applicata una tale risultante, è il centro stesso delle forze parallele (§. 280), il quale in questo caso chiamasi *centro d'inerzia* o *centro di massa*, e coincide col centro di gravità per un corpo pesante, essendo allora l'attrazione terrestre la forza, da cui sono sollecitate le molecole del corpo. La direzione dunque che ha una massa in moto è quella stessa del suo centro d'inerzia. L'urto succede in causa dell'inerzia e dell'incompenetrabilità della materia; e si comunica, come si disse, da molecola a molecola, trasmettendosi il moto da quelle direttamente colpite nelle contigue, e da queste nelle altre seguenti (§. 250). Egli è perciò che le leggi e gli effetti dell'urto sono dipendenti dal grado di coesione dei corpi, e variano secondo che questi sono solidi, liquidi od aeriformi. Per rispetto alla comunicazione del moto, senza che si sviluppi per lo scontro veruna forza nei corpi posti a conflitto, abbiamo veduto nella fisica generale come quelli cedevoli, solidi e fluidi, siano più atti ad estinguere il moto dei corpi consistenti e duri.

Ciò premesso, osserviamo che nello scontro dei corpi si danno alcuni casi differenti in riguardo alla direzione del moto: se lo scontro succede secondo la retta che unisce i centri d'inerzia dei due corpi, allora ha luogo l'*urto centrale*, che se avviene in una direzione differente dalla retta medesima, allora si dice *urto eccentrico*. Tra i due corpi, che si scontrano, si concepisca un piano tangente ad essi nel punto con cui vengono a combaciamento al momento dello scontro:

se un tal piano risulta normale al moto di uno almeno di quei corpi, in tal caso si ha l'*urto diretto*; che se il piano istesso riesce inclinato con quella direzione, allora succede l'*urto obliquo*. Dunque può accadere che nello scontro si abbia l'*urto diretto-centrale*, l'*urto diretto-eccentrico*, come pure l'*urto obliquo centrale* e l'*urto obliquo-eccentrico*. Senza entrare nel campo della meccanica razionale, noi ci occuperemo dei casi, che più interessano la nostra scienza.

470. Nell'urto dei corpi elastici, a differenza degli inelastici, bisogna prendere in considerazione la forza, che si sviluppa per l'elaterio subito dopo che ha avuto luogo la compressione e che si genera in virtù della restituzione delle parti, le quali subirono la compressione.

Se un corpo è perfettamente elastico si produce nella restituzione delle parti una forza eguale a quella di compressione (§. 171): talchè, lasciando cadere per la sola forza di gravità un corpo elastico per eccellenza da una data altezza, esso dovrà rimbalzare risalendo alla stessa altezza da cui è caduto (§. 248), perchè la forza di compressione prodotta nel nostro caso dalla gravità eguaglia quella elastica, che si è sviluppata in virtù della medesima. Imaginiamo ora due sfere perfettamente elastiche, che si scontrano per urto centrale, l'una A colla quantità di moto MV e l'altra B colla quantità di moto $\pm mu$; e dividiamo il tempo del loro conflitto in due parti, nella prima delle quali ha luogo la compressione e nella seconda la restituzione delle parti. Egli è chiaro che nel primo tempuscolo, non essendosi ancora sviluppata l'elasticità, il corpo A comunicherà al corpo B la quantità di moto $\frac{Mm(V\mp u)}{M+m}$ (§. 229). Nel secondo tempuscolo poi si sviluppa nei corpi una seconda forza, per la quale succede una nuova comunicazione di movimento da aggiungersi alla prima avvenuta in virtù delle sole forze impresse, di cui erano i due corpi dotati. Nel caso della perfetta elasticità, la seconda forza è eguale alla prima, e perciò all'atto della restituzione delle parti i due corpi A, B trasfonderanno l'uno nell'altro una seconda quantità di moto pure eguale ad $\frac{Mm(V\mp u)}{M+m}$. Talchè nel conflitto la totalità comunicatasi fra i due globi sferici sarà espressa da (I). $\frac{2Mm(V\mp u)}{M+m}$

La velocità C, che i due corpi avranno dopo l'urto, si ha pel

globo A sottraendo dalla velocità V previamente posseduta la velocità perduta $\frac{2m(V \mp u)}{M+m}$, e pel globo B aggiungendo alla sua velocità $\pm u$ prima del conflitto quella guadagnata $\frac{2M(V \mp u)}{M+m}$: si avranno quindi le velocità dei corpi A, B dopo il conflitto dalle due equazioni:

$$C = V - \frac{2m(V \mp u)}{M+m}, \quad c = \pm u + \frac{2M(V \mp u)}{M+m}$$

ossia sarà

$$\text{(II)}.\ C = \frac{\pm 2mu + V(M-m)}{M+m}; \quad \text{(III)}.\ c = \frac{2MV \pm u(m-M)}{M+m}.$$

471. Dalle formole generali esposte si deducono alcuni corollari, i cui risultati importa che si facciano conoscere perchè essi si possono verificare coll'esperienza.

Abbiano le due sfere A, B eguale massa; allora è $M=m$ e la quantità di moto comunicatosi sarà secondo la formola (I). $M(V \mp u)$, Le velocità poi secondo la formola (II) e (III) si riduranno a $C = \pm u$, $c = V$: vale a dire che *nel conflitto i due corpi elastici di egual massa si scambiano le loro velocità.* Quando poi il corpo urtato fosse inoltre in quiete, in tal caso è $u=o$, e quindi la quantità di moto trasfusa si riduce ad MV, cioè *i due globi elastici d'egual massa ed uno soltanto in moto, questo nello scontro comunica tutto il suo moto all'altro corpo.* Le velocità del due globi poi diventerebbero nello stesso caso $C=o$, $c=V$; vale a dire che *il corpo urtato trasfonde tutta la sua velocità nell'urtato, ed esso rimane in quiete.* Così si ricavano altre conseguenze consimili.

Dall'ultimo risultato si deduce che in una serie di globi d'egual massa e perfettamente elastici, se il primo va ad urtare il secondo in quiete con tutti gli altri, questo riceverà la velocità V del primo e diventerà urtante pel terzo globo, al quale comunicherà la stessa velocità V restando esso medesimo in quiete, e nell'egual modo si comunicherà la velocità sino all'ultimo, che rimbalzerà colla velocità V, mentre tutti gli altri rimangono col primo in quiete. Si comprende eziandio che, se nella stessa serie di globi siano contemporaneamente i due primi, che vanno ad urtare gli altri in quiete, tutti quegli intermedii rimarranno in riposo, movendosi i due ultimi colla velocità dei due primi. Lo stesso si dica se gli urtanti sono i primi tre o un numero maggiore di globi.

I corollari precedenti della teorica dell'urto dei corpi perfettamente elastici si possono dimostrare coll'esperienza, mediante l'apparato conosciuto nelle scuole col nome di *machina di percussione*. Questa consiste in un basamento orizzontale PQ (fig. 132), nel quale è piantata verticalmente una colonnetta CD. Alla sommità D della colonnetta è applicato un braccio orizzontale che sostiene la doppia traversa EF, la quale sporge all'infuori della direzione della colonnetta CD. Alle due parti della traversa vi sono congiunti degli uncini ritenuti da galletti di vite in apposite scanalature, con cui possono essere abbassati ed innalzati secondo il bisogno. Agli uncini si attaccano dei fili flessibilissimi di seta, cui stanno appesi i globi A, B destinati alle sperienze sull'urto. Un arco di cerchio graduato MN è assicurato con viti alla parte inferiore della colonnetta, e serve a misurare la deviazione dei fili e dei globi appesi e quindi la velocità che a questi ultimi sono date o prendono nell'urto. L'arco non è diviso in gradi eguali di cerchio, ma con numeri e divisioni che indicano le sottese agli archi d'oscillazione, le quali si sa che riescono esattamente proporzionali alle velocità che il grave acquista nel discendere (§. 393). Vi ha inoltre un piccolo campanello T, che con una vite di pressione si fissa sulle diverse divisioni dell'arco, per mostrare il punto cui giunge il corpo urtato dopo lo scontro.

Siano i due globi A, B d'avorio d'egual massa, potendosi questa materia considerare come perfettamente elastica (§. 169). I° Si discosti il globo A di 20 divisioni, e si lasci cadere da quel punto come il pendolo. Giunto al punto infimo dell'arco d'oscillazione urta il globo B, e si trova che, dopo lo scontro, A resta in quiete, mentre B ha concepito una velocità che lo fa ascendere dalla parte opposta alla divisione 20, dove si è collocato il campanello. Avviene appunto ciò che dimostrano le formole precedenti. II°. Si deviano i due fili dalla stessa parte M, ponendo il globo A sulla divisione 20 e B sulla divisione 10, e si abbandonino i due globi a se medesimi. Il globo A, come dotato di maggior velocità, raggiungerà B e lo urterà; dopo lo scontro si trova, come insegna la teoria, che B seguita a moversi per lo stesso verso e giunge verso N sulla divisione 20, mentre A giunge soltanto sulla divisione 10; cioè i due corpi si sono scambiate le loro velocità. III°. Si vengano ora incontro, discendendo A dalla divisione 20 e B dalla divisione 10; si osserva che, dopo l'urto, il globo A ritorna verso M e giunge alla divisione 10, e B rimbalza indietro verso N ascendendo sino alla divisione 20. È appunto quanto si apprende dalla teoria, cioè i corpi si scambiano

le loro velocità. IV°. Abbia il corpo A la massa doppia di B, e si porti il primo verso M sulla divisione 10 e il secondo verso N sulla divisione 20. Abbandonati poscia i due globi a se medesimi, si scontrano, e il globo A ritorna indietro salendo ancora sulla divisione 10 verso M, e lo stesso è di B che rimbalza ascendendo alla divisione 20. I due corpi hanno dunque conservato ancora le loro velocità, ma prendendo una direzione opposta a quella che prima avevano. Questo risultato è una conseguenza pure della teoria; poichè in tal caso le masse dei due globi sono reciproche alle loro velocità, ed è $MV=mu$; per cui le formole generali diventeranno in questo caso:

$$C=-m\left(\frac{V+u}{M+m}\right); \qquad c=M\left(\frac{V+u}{M+m}\right),=$$

da dove facendo $M=2$, $m=1$, $V=10$, $v=20$, si ha $C=-10$; c 20.

Si possono in tal maniera istituire altre sperienze, che nei loro risultati si accorderanno con quelli delle formole teoriche. Giova solo l'osservare, che un tale accordo non si verifica a tutto rigore in causa della resistenza dell'aria e della rigidezza dei fili, i quali ostacoli, quantunque tenuissimi, variano qualche poco gli effetti dell'urto. Bisognerà quindi aver riguardo a questa circostanza nel collocare il campanello; ed a tal fine basta fissare il braccio portante il medesimo sulla divisione data, perchè la periferia dello strumento viene a corrispondere al di là di questa divisione d'una quantità eguale al raggio.

472. La machina di percussione serve altresì a verificare coll'esperienza i corollari, che si deducono dalle formole del semplice urto dei corpi senza che in essi si sviluppi veruna forza, ed a confermare così i principii stabiliti intorno alla semplice comunicazione del moto dei corpi sollecitati soltanto da forze impresse o dei corpi inelastici (§. 229). A tal fine, invece di globi d'avorio, si hanno globi di creta o di cera mista con trementina, per avere delle materie in cui non si sviluppi l'elasticità.

I°. Si abbiano infatti appesi ai fili della machina due globi A, B d'egual massa, ed il primo A sia portato sulla divisione 20 mentre l'altro B è in quiete, nell'urto procedono avanti assieme e giungono dalla parte opposta sino alla divisione 10. Ciò significa che la velocità 20 si è suddivisa nei due corpi dopo l'urto. In questo caso è $M=m$ ed $u=o$, e dalla formola $x=\frac{MV\pm mu}{M+m}$, che dà la velocità

comune dopo lo scontro (§. 229), si ha $x=\frac{V}{2}$. II°. I corpi s'inseguono, discendendo A dalla divisione 20 e B dalla divisione 10, si trova che, dopo lo scontro salgono dal lato opposto sino alla divisione 15. Infatti la velocità comune è espressa da $x=\frac{MV+mu}{M+m}$, e ponendo in essa alle velocità i loro valori $V=20$, $u=10$, risulta $x=15$. III°. Nel caso che i due globi d'egual massa si vengano incontro, A posto dal lato M sulla divisione 20 e B da quello N sulla divisione 10, si trova ch'essi procedono colla stessa velocità di 5 verso N. La formola $x=\frac{MV-mu}{M+m}$ dà infatti $x=5$. IV°. Abbia il globo A una massa doppia di B, e il primo discenda dalla divisione 10, mentre il secondo discende dalla divisione 20, posta al lato opposto; dopo lo scontro i due globi rimangono in quiete. La formola in questo caso è $x=\frac{MV-mu}{M+m}$, dove è $M=2m$, $V=10$, ed $u=20$; per cui si ha appunto $x=o$ come ha dato l'esperienza.

Si possono facilmente imaginare altre consimili esperienze da istituirsi mediante la machina di percussione intorno alla comunicazione del moto; ma le riportate bastano per mostrare l'uso d'un tal apparato.

473. Si trova nei gabinetti di fisica un apparato per verificare l'ultimo corollario dedotto dalle formole dei corpi elastici (§. 471), che è somigliante alla machina di percussione descritta. Una serie di globi d'avorio *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, ecc. d'egual massa (fig. 133) stanno appesi, come nella machina di percussione, in modo che siano coi loro centri sulla medesima retta ed a contatto. Innalzando il primo globo *a* ad una data altezza, per esempio sulla divisione 15, esso urta il contiguo *b*, e l'urto si comunica consecutivamente agli altri sino all'ultimo *f*, questo solo concepisce un movimento elevandosi sino alla divisione 15. Se si ripete l'esperimento coi due globi *a*, *b*, essi vanno ad urtare *c*, ed il moto si comunica e fa innalzare egualmente dal lato opposto i due globi *e*, *f*, mentre tutti gli altri rimangono in quiete. Lo stesso succede sperimentando con un maggior numero di globi.

474. Le leggi, che si sono dedotte sull'urto dei corpi nel caso più semplice di globi, sono generali, e si verificano non solo per l'urto diretto-centrale, ma ben anche per l'urto obliquo ed eccentrico. La

considerazione di tutti questi casi richiede calcoli complicati ed appartiene piuttosto alla matematica che alla nostra scienza. Ci limiteremo perciò a far conoscere qualche caso particolare per dare un' idea della maniera di procedere nelle diverse specie di urti. Si abbia un globo A col quale si vuole urtare l'altro B (fig. 134) in modo che questo vada a colpire il globo C. Si uniscono i centri del due globi C, B con una retta, che si prolunga al di là della periferia di B, si prende sul prolungamento una porzione *xa* eguale al raggio *xb* del globo B e si congiunge il punto *a* col centro del globo A, la linea *aa* indicherà la direzione che bisognerà dare al globo A per ottenere l'effetto proposto. Infatti, si conduca al punto di contatto *x* il piano tangente ai due globi che si urtano, il quale riescirà perpendicolare alla retta *ac*, e si risolva la forza *am*, con cui è spinto il globo A. In due, l'una *ax* centrale e perpendicolare al piano, l'altra *an* parallela al piano medesimo. È chiaro che la *an* non avrà alcuna influenza nell'urto (§. 254), e la sola *ax* opererà lo scontro col globo B, il quale, per essere in quiete e d'egual massa di A, riceverà da questo l'intera forza o quantità di moto *ax* (§. 471). Dunque il globo B procederà, in virtù del moto acquistato, pel cammino *bc* ed andrà ad urtare il globo C, mentre A, dopo l'urto, prenderà la via lungo la linea *an*

Se si trattasse di dirigere il globo A in modo che, urtando B, questo vada a colpire l'altro C per spingerlo nella buca D (fig. 135); allora si unisce il punto centrale *d* col centro di C mediante la retta *dc*, che si prolunga al di là del globo e sul prolungamento si prende la porzione *xb* eguale al raggio di B. Si congiunge poscia questo punto *b* col centro del globo B o sul prolungamento della retta *bb*, si taglia la parte *ya* eguale al raggio del globo, riunendo il punto *a* col centro di A. La linea *aa* sarà la direzione che bisogna dare al moto di A per mandare il terzo globo C nella buca D. Infatti decomposta la forza *am* in due, l'una *ay* diretta sulla retta *ab* e l'altra *aq* perpendicolare a questa linea: delle due componenti la sola *ay* urterà il globo B, il quale prenderà la via *bb*, ed urtando il globo C colla sola componente *bx*, mentre l'altra *bn* rimane impressa nello stesso B, il globo C sarà diretto pel cammino *bd* verso la buca D ed a cadere in essa.

Si voglia in fine che la palla A, dopo aver urtato la B, prenda un moto diretto a colpire la c (fig. 136). Dal centro *b* della B si descriva un cerchio con un raggio doppio della palla; talchè il globo urtante A all'atto dello scontro B si troverà col suo centro su qualche punto

della circonferenza descritta, e si unisca il punto di contatto col centro di A mediante la retta *aa*, e sarà secondo questa linea che bisognerà dirigere A per urtare B ed andare a colpire C. Infatti risulta la forza *am* della palla A, che urta B, in due, l'una *an* sulla direzione della retta *ac* tangente alla doppia circonferenza, e l'altra *ax* ad essa normale che passerà pel centro *b* della palla B. Egli è chiaro che, delle due componenti, la *ax* si comunicherà nell'urto alla palla B, e l'altra *an* condurrà il globo A nella direzione *ac* a colpire la palla C.

In tutti questi casi si vede facilmente che l'urto è obliquo centrale. Le deduzioni che si sono ricavate da considerazioni teoriche, si possono verificare coll'esperienza sul bigliardo, dove i globi urtantisi sono palle d'avorio.

475. Un corpo elastico che vada ad urtare contro un ostacolo sodo ed irremovibile si discosta dal medesimo e dà luogo al *moto riflesso*. Se il corpo è perfettamente elastico, la riflessione succede con una velocità eguale a quella con cui è avvenuta la percussione. Infatti, la velocità del corpo urtante è espressa (§. 470) da

$C = \frac{\pm 2mu + V(M-m)}{M+m}$, dove nel nostro caso è $u=o$ ed $m=\infty$, potendosi il corpo urtato, per essere irremovibile, considerare d'una massa infinita. Si avrà quindi $C = \frac{-V\infty}{\infty} = -V$. L'ostacolo irremovibile rimane in quiete, il che vien fatto conoscere anche dalla formola $c = \frac{2MV \pm u(m-M)}{M+m}$, che dà colla sostituzione $c = \frac{2MV=O}{\infty}$.

Sia dunque una palla d'avorio che va ad urtare normalmente contro un piano irremovibile e sodo od egualmente elastico, essa retrocederà normalmente al piano stesso con una velocità eguale a quella che aveva avanti lo scontro. Che se la direzione della palla A (fig, 137) è obliqua al piano EF, allora si decomponga la velocità AC avanti l'urto in due, l'una PC normale al piano e l'altra MC lungo il piano stesso. Nell'urto la prima PC si cambierà in CP in direzione contraria, e la seconda MC tenderà soltanto a far sdrucciolare la palla sul piano con una velocità CN=MC. Componendo ora le due velocità CP, CN si avrà la risultante CB, che indicherà in grandezza e direzione la velocità con cui il corpo verrà riflesso dal piano. Proiettando le due linee AC, BC sul piano EF, si ottiene sul medesimo la retta DG, la quale colla direzione della velocità urtante AC, ha l'inclinazione ACD, che chiamasi *angolo d'incidenza*; e colla

direzione della velocità riflessa CB ha l'inclinazione BCG, che si denomina *angolo di riflessione*. Si noti che dicesi anche angolo d'incidenza il complemento ACP, ed angolo di riflessione il complemento BCP dell'altro angolo.

476. Nel moto riflesso dei corpi perfettamente elastici si prova che *l'angolo d'incidenza eguaglia quello di riflessione*. Infatti, facendo come precedentemente la decomposizione della velocità avanti l'urto e la composizione delle velocità dopo l'urto, risultano i due triangoli ACM, BCN eguali (fig. 137), per cui l'angolo d'incidenza ACM è eguale a quello di riflessione BCN, ossia il complemento ACP eguale al complemento BCP.

Questo principio fondamentale del moto riflesso si dimostra eziandio coll'esperienza, mediante la *machina di riflessione*. L'apparato si compone d'una base AB (fig. 138) disposta orizzontalmente, su cui si erige la colonnetta verticale AC. Un piano di marmo ben levigato EF è collocato in un'intelaiatura di legno mobile sopra apposita mastietatura intorno al punto E, potendosi con ciò dargli qualunque inclinazione rispettivamente alla colonnetta RC. Sulla sommità della colonnetta è applicata, parallelamente alla base AB, un'asta CD, nella quale vi è un foro *m*, dove si mette una palla d'avorio sostenuta da un fondo mobile. Finalmente in *n* è appesa alla colonnetta una cassettina, che si può innalzare ed abbassare, essendo ritenuta da un dado di vite e scorrevole per una scanalatura sul perno, pure a vite, da cui è sostenuta.

Per fare l'esperienza si dispone il piano EF sotto qualunque angolo, e si stabilisce su di esso il punto o, dove la palla d'avorio, cadendo verticalmente da *m*, andrebbe a colpirlo. Si colloca la cassettina ad una distanza E*n* dalla mastietatura in modo che questa distanza risulti eguale all'intervallo o*n*. Ciò fatto, si leva il fondo mobile e la palla d'avorio cade da *m* sul punto o del piano, dove è riflessa secondo la direzione *on* dentro la cassettina. Da questo si deduce che l'angolo d'incidenza *mo*F è eguale a quello di riflessione *no*E. Infatti, per le due verticali parallele *m*o ed *n*E, l'angolo *mo*F è eguale ad *n*E*o*, e quest'ultimo eguale ad *no*E per essere isoscele il triangolo *on*E; per cui sarà anche l'angolo *mo*F eguale ad *no*E, cioè l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione.

Osserviamo che questa legge del moto riflesso ha luogo soltanto nei corpi dotati di perfetta elasticità. Imperciocchè in quelli imperfettamente elastici la componente PC (fig. 137) nella riflessione non si svilupperebbe tutta intera in verso contrario, per cui il trian-

golo BCN non riescirebbe eguale all'altro ACM in causa del lato BN minore di AM.

477. All'appoggio della precedente legge si possono sciogliere alcuni problemi intorno al moto riflesso, che trovano la conferma sperimentale nel giuoco del bigliardo al pari degli altri sull'urto di palle elastiche, di cui si è altrove parlato (§. 474). Nel bigliardo, il piano, da cui viene riflesso il corpo, è anch'esso elastico, ed è la mattonella del medesimo. Il che torna lo stesso, perchè l'elasticità del corpo percosso rende più esatta la totale riflessione.

I. Dato il piano solido e stabile MN (fig. 139) e due palle perfettamente elastiche A, B, determinare la direzione Ax da darsi alla palla A, affinchè riflessa vada a battere contro la B.—Si conduca la normale BD al piano, si prenda su di essa ED=EB, e in fine si congiunga AD, che indicherà la direzione per cui deve essere spinto il corpo A per colpire dopo la riflessione l'altro B. Infatti, per l'eguaglianza dei due triangoli rettangoli BEx, DEx, è l'angolo BxE=DxE, e questo eguale all'opposto al vertice AxM, per cui riuscirà l'angolo d'incidenza AxM eguale a quello di riflessione BxE, e quindi la palla A dovrà essere riflessa nella direzione xB per dove colpirà l'altra B.

II. Due piani MP, NP ad angolo fra loro (fig. 140) sono urtati successivamente da una palla elastica A, si cerca in qual direzione dovrà questa essere lanciata, onde nella doppia riflessione vada a colpire l'altra palla B.—Dai punti A, B si tirano sui rispettivi piani MP, NP, le normali AC. BD, sulle quali si prendono le parti EC=EA, FD=FB. Congiunta la CD, questa, perchè il problema sia solubile, deve tagliare i piani in due punti x, y; unendo il punto x con A, sarà la retta Ax la direzione richiesta. Infatti per l'eguaglianza dei triangoli, come precedentemente l'angolo AxE=Pxy, e quindi la palla A nella prima riflessione dovrà prendere la direzione xy, e venendo ad urtare in y sarà costretta a dirigersi nella seconda riflessione per yB, per dove andrà a colpire la palla B; e ciò per l'eguaglianza degli angoli xyP, FyB.

III. Si hanno tre piani MQ, MP, PN (fig. 141) fra loro ad angolo, che sono urtati successivamente dalla palla A; si domanda qual sarà la direzione da darsi a questa palla per giungere dopo le tre riflessioni a colpire l'altra palla B.—Si conduca la normale AC, prendendone la porzione EC=EA. Dal punto C si tiri la CG parallela al piano MQ, la quale taglierà nel punto H il prolungamento del piano contiguo MP. Si faccia HG=CH, indi si congiunga il punto G

col D determinato nell'egual modo; la retta GD intersecherà in y, z i due piani MP, PN. Tirata la retta yC che incontrerà in x il piano MQ, i punti x, y, z saranno quelli dove si faranno le tre riflessioni; e la palla A dovrà essere spinta secondo Ax per andare a scontrarsi colla B. Infatti la prima riflessione si farà nella direzione xy per l'eguaglianza degli angoli col piano MQ; la seconda riflessione secondo la linea yz per l'eguaglianza degli angoli col piano MP e la terza riflessione lungo la linea zB per gli angoli eguali col piano PN. La condizione necessaria per la soluzione del problema è che la retta GD seghi i due piani MP, PN.

IV. Si abbiano quattro piani MQ, MP, PN, NQ, che formano il quadrilatero MPNQ, e sono urtati successivamente dalla palla A (fig. 142); si cerca la linea secondo cui deve essere sollecitata la palla medesima per giungere dopo le quattro riflessioni a colpire l'altra palla B.—Si conduca la retta AC normale al piano MQ, e dall'estremità della parte esterna eguale all'interna si tiri la CG parallela al detto piano, la quale segherà in H il prolungamento del piano contiguo MP. Su questa parallela si faccia GH=CH, e si ripeta la stessa costruzione per la palla B in riguardo ai piani contigui NQ, NP. Congiunti i punti G, S colla retta GS, questa intersecherà i due piani NP, MP nei punti z, y, i quali si uniscono rispettivamente coi D, C, e in tale unione si determineranno le intersezioni, w, x cogli altri due piani NQ, MQ. I quattro punti x, y, z; w indicheranno i luoghi, dove la palla A, posta in moto secondo la direzione Ax, sarà successivamente riflessa dai quattro piani per giungere in fine ad urtare la B; il che riesce chiaro da quanto si è detto per le precedenti costruzioni.

Da questi esempi e da quelli esposti altrove (§ 474), si vede che il giuoco del bigliardo esige un occhio esercitato per giudicare delle direzioni e degli angoli, ed una mano non meno esercitata a seguire le indicazioni dell'occhio.—Intorno al moto comunicato per mezzo dell'urto, aggiungeremo eziandio che l'acqua mette in movimento le ruote idrauliche comuni mediante l'urto, e lo stesso è dell'aria nelle ruote dei mulini a vento. Parimenti coll'urto del remo contro l'acqua si fa percorrere alla barca un cammino, e il nuoto dei pesci e degli uomini è prodotto nello stesso modo, come pure il volo degli uccelli nell'aria. Il rinculare dei cannoni e degli schioppi è pure effetto dell'urto del fluido aeriforme che si genera per l'espulsione del proiettile; e così si dica di molti altri fenomeni.

478. Abbiamo sinora parlato di corpi solidi indipendenti, che ne incontrano altri durante il loro moto; ci rimane a dire del moto di quei

collegamenti o sistemi di solidi, che si conoscono sotto la generale denominazione di machine (§. 434), delle quali, quando esse sono sollecitate da forze, si fecero conoscere le condizioni d'equilibrio nella prima sezione.

Per far passare le machine dallo stato d'equilibrio a quello di movimento, sembrerebbe bastare un piccolo aumento nella potenza. Vi sono però parecchie resistenze, le quali si sviluppano all'atto stesso dell'incominciamento del moto della machina, e contrastano un tal passaggio. Per ora facciamo astrazione da queste resistenze, di cui parleremo più avanti, e consideriamo se dalle machine in moto si ottiene quel vantaggio per la potenza, che si è riscontrato nell'equilibrio. Nelle machine in moto bisogna aver riguardo alla velocità ossia allo spazio ed al tempo; e per quanto si aumenti l'efficacia della potenza nell'effetto istantaneo o momento statico delle medesime, quando si passa al moto un tal aumento è sempre a scapito della velocità o del tempo, che s'impiegherebbe a descrivere un dato spazio ed a conseguire l'effetto totale o il momento dinamico. Essendo il movimento reso uniforme da una potenza, qualunque sia la machina con cui essa opera, l'azione della potenza medesima e il momento dinamico sulla resistenza costituiscono due quantità costanti ed eguali: in questo caso la quantità d'azione è espressa dal prodotto della potenza pel cammino da essa percorso, e il momento dinamico è rappresentato dal prodotto della resistenza per lo spazio che le si è fatto descrivere. Si deduce quindi il gran principio di mecanica che, in ogni machina ridotta ad un moto uniforme, la quantità d'azione della potenza e il momento dinamico di essa sono sempre eguali. Prendiamo ad esempio il sistema di carrucole della figura 112, col quale, essendo i tratti della fune paralleli, una potenza come 1 può equilibrare la resistenza 6 (§. 453); ma se dall'equilibrio si passi al moto, la potenza per elevare il peso o la resistenza per esempio di 1 metro, dovrà percorrere uno spazio sei volte maggiore, cioè 6 metri. Parimenti nel sistema di leve (fig. 100) una piccola potenza farà equilibrio con una grande resistenza; e se, in ciascuna leva del sistema, il braccio appartenente alla potenza sia 5 volte quello spettante alla resistenza, una potenza equilibrerà una resistenza 125 volte maggiore (§. 441). Passando invece al moto si ha che, per far percorrere alla resistenza od innalzare il peso di un metro, la potenza dovrebbe fare un cammino di 125 metri. E potrebbe benissimo la forza d'un uomo equilibrare, secondo Archimede, con un sistema di leve la grande massa

del nostro pianeta. Ma qual tempo enorme bisognerebbe impiegare per farlo movere ben anche d'un piccolissimo spazio! Ritenendo che la terra abbia per periferia 40 milioni di metri (§. 41) e che sia una sfera, della gravità specifica di circa 5; si avrebbe la sua mole equivalente ad una massa d'acqua del peso di tanti chilogrammi espressi dal numero 54 seguito da ventitrè zeri. Supposta quindi la terra pesante al pari degli altri corpi, ed impiegata la forza di 1000 chilogrammi per equilibrarla con un sistema di leve; la potenza starebbe alla resistenza come l'unità al numero 54 seguito da venti zeri. Per passare poi dall'equilibrio al moto bisogna che la potenza percorra uno spazio di tanti metri espressi dal numero 54 seguito da venti zeri per far muovere la resistenza di un metro. Se dunque la potenza percorresse 100 metri per ogni minuto, si richiederebbero più di 100 mila milioni d'anni ad Archimede per muovere con quella potenza il nostro globo d'un solo millimetro.

Le precedenti riflessioni devono far accorti taluni, i quali, illusi dal vedere nella statica una potenza fare equilibrio con una resistenza molto grande, credono di trovare nell'effetto dinamico eguale risultamento. Finchè si tratta dell'equilibrio, una potenza anche piccola può sostenere il contrasto d'una grande resistenza; giacchè i perni ed i punti fissi aiutano la potenza a bilanciare questa resistenza, di cui essa annulla soltanto una piccola porzione. Tosto però che si passa al moto, quei punti d'appoggio potevano bensì nell'equilibrio opporsi all'effettuazione del movimento, senza essere in grado di produrlo, quando si tratta di mandarlo ad effetto. Appunto per ciò la potenza, nel caso del moto, deve supplire alla sua tenuità coll'impiegare maggior tempo, non potendo imprimere che una velocità tanto più piccola quanto più è grande la resistenza.

Si osservi inoltre che, per quanto complicata sia una machina, per trovare il rapporto statico fra la potenza e la resistenza, basta esaminare nel movimento quegli spazi che l'una e l'altra debbono percorrere, e il rapporto dei medesimi ci darà quello delle due forze per l'equilibrio essendo l'uno inverso dell'altro. Si è già veduto che questi spazi rappresentano le velocità virtuali, dalle quali si riconosce il rapporto fra la potenza e la resistenza (§. 323).

479. A malgrado di quanto si è esposto, le machine sono di grande vantaggio; giacchè per esse, quando si ha una piccola potenza disponibile per vincere una grande resistenza, si può questa mettere in movimento, purchè si dia tempo all'operazione. All'inverso potendo disporre d'una forza molto poderosa, si può dare ad una piccola re-

Digitized by Google

sistenza una grande velocità, senza il bisogno che la potenza stessa si muova molto rapidamente. Un corpo del peso, per esempio di 6000 chilogrammi, che non potrebbe essere mosso da un uomo colla sua forza direttamente applicata, egli lo può innalzare col mezzo di una machina, purchè si contenti di fargli percorrere 5 centimetri per minuto ed impiegasse quindi 2 ore o 120 minuti ad elevarlo di 6 metri. L'effetto dinamico, come ben riflette Galilei, sarebbe lo stesso dividendo il corpo in 120 parti di 50 chilogrammi e portandone una parte per volta all'altezza di 6 metri in un minuto. Colla machina però egli ha il mezzo di eseguire il trasporto senza rompere in pezzi il corpo, il che è in parecchi casi di gran vantaggio, quando, per esempio, si trattasse di elevare una statua od una colonna di marmo. Alle volte l'uomo ha bisogno di movere un corpo con grande velocità, ch'egli non la potrebbe ottenere facendo uso direttamente della sua forza, per quanto la resistenza sia piccola. Mediante una machina egli può raggiungere il suo scopo, purchè la resistenza sia tanto più piccola in grandezza quanto è più grande la velocità che desidera ad essa di comunicare. L'arrotino, mediante il tornio combinato con una leva di terzo genere, dà alla mola una grande velocità, senza bisogno di movere molto rapidamente il piede, con cui applica la sua forza.

480. Si ha spesso il bisogno, nelle officine delle arti e nelle case di commercio, di sollevare corpi di gran massa per collocarli sopra carri destinati al trasporto, o per sollevarli dalla terra, onde riconoscerne il peso colla stadera. Quest'operazione si potrebbe eseguire malagevolmente dal numero d'uomini necessarii a vincere quella resistenza. Col tornio, unito ad una carrucola fissa e ad una specie di trepiede di robuste stanghe di legno, si è formata la machina chiamata *capra*, molto propria per tali occorrenze. La resistenza si applica ad un capo della fune scorrevole sulla carrucola fissa alla sommità della capra, mentre con l'altro capo si avvolge sul subbio del tornio. Un uomo solo, esercitando la sua forza sulle manovelle *m* del tornio (fig. 143), è capace di muovere il corpo e portarlo all'altezza voluta. Egli impiegherà nell'operazione tanto minor forza quanto più lunghe saranno le manovelle e più piccolo il subbio del tornio (§. 456); ma il guadagno nella forza sarà anche qui a scapito del tempo pel conseguimento dell'effetto richiesto; il che non importa in confronto del vantaggio di conseguire l'intento con un sol uomo senza gran fatica.

481. Quando si tratta di sollevare pesi e di trasportarli orizzon-

Digitized by Google

taimente ad una certa distanza per toglierli dal luogo dove giacevano, e collocarli in uno differente anche più elevato, serve la machina conosciuta sotto il nome di *grua*; come è il caso di levare grosse masse e grandi casse di mercanzie dalle navi nei porti di mare e collocarle sopra carri per condurle alla loro destinazione. Essa si compone di due parti, l'una fissa e l'altra mobile intorno ad un albero connesso colla parte fissa. Il pezzo principale della parte fissa è l'albero AA detto puntaruolo (fig. 144), disposto verticalmente e ritenuto in tale posizione da un collegamento di travicelli e di traverse, che serve di base a tutta la machina. La parte mobile si compone pure di parecchi legni, di cui il principale dicesi *scala*, il quale è un trave BB appoggiato obliquamente sul perno x di metallo, di cui è munita la sommità del puntaruolo. Al disotto della scala sta connesso un tornio EF, che, unitamente alla medesima ed all'armatura corrispondente, è mobile sul perno x. Una fune si avvolge da un capo all'asse del tornio, scorre sulle carrucole fisse 1, 2, 3, 4, e tiene appeso all'altro capo il grave R da essere sollevato. Girando l'asse del tornio, il peso s'innalza, e quando è giunto ad una certa altezza si fa ruotare la parte mobile sul perno della fissa e si trasporta così il peso stesso in altro luogo all'intorno della machina.

482. In parecchie circostanze si ha bisogno d'un congegno per sollevare pesi, che possa essere portato facilmente senza grande sforzo ed occupi poco volume. A tali condizioni soddisfa la machina appellata *martinetto*. È esso composto d'un sistema di due torni combinati mediante le ruote dentate, e d'una robusta asta di ferro pure dentata e munita superiormente d'un pezzo incurvato, che si applica al disotto della resistenza R da sollevarsi (fig. 145). Il rocchetto a della prima ruota A imbocca e si unisce coi suoi denti a quelli dell'asse di ferro, e il rocchetto b d'un secondo tornio si congiunge nella stessa maniera colla ruota A, mentre la potenza P agisce all'estremità del manubrio B, il moto si comunica per mezzo del rocchetto b alla ruota A, la quale col mezzo del rispettivo rocchetto a spinge in alto l'asta di ferro, che innalza la resistenza R. Il rapporto fra la potenza e la resistenza in questa machina si ottiene come in un sistema di torni (§. 460). Il martinetto descritto dicesi *composto*, quello semplice ha un solo rocchetto a, e il manubrio è applicato direttamente all'asse di questo rocchetto.

483. In parecchi congegni composti di ruote dentate si ha bisogno spesso di conoscere il numero di giri che fa l'ultima ruota in confronto della prima. Nel sistema di ruote dentate della figura 121

siano N, N' il numero rispettivo di denti delle ruote B, C ed n, n' quello dei rocchetti a, b. È chiaro che, mentre il rocchetto a colla sua ruota A farà un giro, la B ne farà il numero $\frac{n}{N}$, e che in generale il numero dei giri g di A sta a quello g' di B nel rapporto di N:n, cioè è $g : g' :: N : n$, da cui $g'=\frac{n}{N}.g$. Chiamando g'' il numero dei giri della ruota G si avrà egualmente $g' : g'' :: N' : n''$, donde si ricava $g''=\frac{n'}{N'}.g'$, e sostituendo $g''=\frac{nn'}{NN'}.g$. La quale equazione si può disporre nella proporzione $g : g'' :: NN' : nn'$; vale a dire che *in un sistema di ruote dentate il numero dei giri della prima ruota sta a quelli dell'ultima, come il prodotto del numero dei denti delle ruote al prodotto di quelli dei rocchetti.*

Sia nel sistema la comunicazione del movimento fatta coi cingoli (fig. 122), e si chiamino m, m' i raggi delle ruote B, C, ed n, n' quelli dei rocchetti a, b, e g, g', g'' il numero relativo dei giri delle ruote A, B, C. È chiaro che mentre A fa un giro unitamente al rocchetto a, B ne farà un numero espresso dal quoziente della periferia di a divisa per quella di B: si avrà quindi in generale,

$g : g' :: 2\pi m : 2\pi h$, da cui $g'=\frac{n}{m}g$; e parimenti

$g' : g'' :: 2\pi m' : 2\pi n'$, donde $g''=\frac{n'}{m'}.g'$ e sostituendo $g''=\frac{nn'}{mm}g$. Si ha altresì la proporzione $g : g'' :: mm' : nn'$; cioè *in un sistema di ruote a cinqoli il numero dei giri della prima ruota sta a quelli dell'ultima, come il prodotto dei raggi delle ruote, meno la prima, al prodotto dei rocchetti, meno l'ultimo.*

484. Gli *orologi* sono formati di parecchie ruote dentate combinate in maniera che, mentre la prima è mossa dalla molla o dal peso di un corpo e fa una certa frazione di giro in un minuto o in un'ora, un'altra ruota deve fare un intero giro nel medesimo tempo. Il *contatore a secondi*, come pure il *contapassi* dipendono tutti da questi principii. Si stabilisce dapprima il numero dei denti che devono avere i rocchetti e le ruote intermedie, e poscia coll'equazione

$g''=\frac{nn'}{NN'}g$ si determinerà il numero N' di quelli da darsi all'ultima ruota perchè essa faccia un numero di giri stabilito in rapporto con quelli della prima. Così nel contatore a secondi, se la prima ruota

fa 60 giri in un'ora, l'ultima ne deve compiere nel medesimo tempo 3600; e si avrà il numero dei denti di questa espresso da

$N' = \frac{nn'}{N} \cdot \frac{g}{g''}$, ossia $N' = \frac{1}{60} \cdot \frac{nn'}{N'}$. Vedesi dunque come la teorica delle ruote dentate serva all'oriuolajo per combinare i movimenti degli orologi, ch'egli deve costruire.

Allorchè si presenta il bisogno di trasmettere il movimento d'una ruota ad un'altra posta ad una certa distanza, si fa uso delle ruote a cingoli per non ingrandire soverchiamente il diametro delle ruote. In tal caso si determina nello stesso modo il raggio m' dell'ultima ruota coll'equazione $g'' = \frac{nn'}{mm} g$, perchè il suo movimento abbia un dato rapporto con quello della prima.

Una ruota dentata si trova spesso nelle machine disposta in maniera da impedire il movimento in un verso e da permetterlo in quello opposto. Tale è il *notolino*, che consiste nella ruota *ab* (fig. 146) coi denti incurvati dalla stessa parte, e dall'uncino *m*, il quale è mobile intorno ad un perno ed è ritenuto fra i denti della molla *n*. Apparisce chiaro che il movimento di rotazione può essere fatto nel verso *abc*, mentre per l'interposizione dell'uncino nei denti è impedito nell'opposto.

485. Gli orologi da tasca sono mossi dall'elasticità d'una molla collocata dentro un *tamburo* AB (fig. 147). La molla è fissa per un suo capo al centro c della base del tamburo, mentre coll'altro è attaccata al punto *d* della circonferenza. Caricando l'orologio per metterlo in moto, si fa girare l'asse d'una ruota dentata D munita d'un rocchetto conico EF detto *fusoide*. Nella rotazione si avvolge sulla fusoide una catenella congiunta ad essa per un'estremità, mentre per l'altra è attaccata al tamburo e lo cinge all'intorno della sua superficie convessa. La fusoide nel girare obbliga per mezzo della catenella il tamburo a concepire un simile movimento, pel quale la molla si avvolge su se medesima conformandosi in ispirale piana e spiegando la sua forza elastica, che tende a far girare il tamburo in contrario verso ed a comunicare il moto alla fusoide. Questo moto si trasmette per mezzo della ruota dentata D a tutto l'ordigno dell'orologio. Ora l'elasticità della molla va diminuendo a misura che si sbanda; e questa forza variabile riuscirebbe pregiudicevole al regolare movimento dell'orologio. Ma nello sbandarsi della molla la catenella ritorna a cingere il tamburo e si svolge dalla fusoide, alla quale per questo svolgimento comunica il moto con un braccio di

leva sempre più grande. In tal modo col tornio a rocchetto conico si regola l'azione della forza decrescente della molla, facendola agire mediante un braccio più lungo.

486. Allorquando una ruota gira uniformemente attorno ad un asse, tutte le molecole della sua massa, facendo nello stesso tempo un giro compiuto, hanno le loro velocità proporzionali allo spazio descritto (§. 352) o alla periferia o al raggio del cerchio percorso. In due ruote circolari, che hanno il loro centro nel centro stesso di movimento, e sono formate di particelle materiali uniformemente disposte, la somma di queste parti è proporzionale al raggio, per cui la quantità di moto delle ruote medesime o la forza espressa dal prodotto della massa per la velocità (§. 224) riesce proporzionale al raggio moltiplicato per se stesso, o al suo quadrato. A masse eguali si proverà dunque più fatica a muovere le ruote di grande che quelle di piccolo diametro. Ne risulta quindi che, se abbiasi ad accumulare in una data massa i successivi conati d'una forza, si ha tanto più vantaggio, quanto più si distribuisce la massa sopra circonferenze di gran diametro.

Nella dinamica è spesso di grande importanza d'accumulare in tal maniera i gradi successivi d'una forza in una massa, il cui peso non aggravi soverchiamente i punti d'appoggio. Imperciocchè, se irregolarità accidentali o nate dall'ineguaglianza della resistenza o dalle variazioni della forza motrice tendono a produrre degli acceleramenti o ritardamenti nocevoli, una grande ruota animata da una rotazione costante può acquistare o perdere una quantità considerabile di moto, senza che la velocità della machina sia molto alterata nella sua azione. In tal caso la ruota serve come conservatore, moderatore o regolatore del movimento, e produce degli effetti assai utili nella pratica, dove è conosciuto sotto il nome di *volante*. La massa si distribuisce spesso egualmente sopra tre punti equidistanti *a*, *b*, *c* (fig. 148) ed anche sopra quattro, invece d'ingrossare con essa la periferia della ruota. Il centro di rotazione dei volanti deve coincidere col loro centro di gravità, senza di che la ruota sarebbe ad ogni istante strascinata più da un lato che dall'altro (§. 356), il suo movimento non potrebbe riuscire nè regolare nè uniforme, per l'ineguaglianza di forze centrifughe, che si genererebbero nel volante, e che si è veduto qual effetto producono nel palèo (§. 369).

Nelle arti anche le più comuni s'incontrano applicati i volanti come conservatori del moto: la mola dell'arrotino è munita di un volante, il quale modera le perdite per l'inegual resistenza, che si

produce nell'arruotare ed affilare i ferri e gli strumenti comprimendoli più o meno sulla periferia della mola.

487. Il *bilanciere* degli orologi da tasca ne regola il movimento appunto secondo i principii esposti. Il *bilanciere* applicato ai coni delle zecche serve ad accumulare nella machina i successivi conati della forza dell'uomo, ed a produrre quindi l'impronta sulla moneta o sulla medaglia con una grande compressione.

Parimenti si dà ragione del modo con cui agisce il *regolatore* delle machine in generale e principalmente di quelle a vapore, nelle quali l'intensità della forza varia secondo le variazioni del fuoco impiegato a produrre il vapore stesso. Il regolatore consiste in un albero verticale AB (fig. 149), il quale tiene congiunte a mastietatura due verghe cilindriche, di cui ciascuna porta un globo di ferro G alla foggia del pendolo, possono quindi come questo oscillare. Quando l'albero gira, in virtù della machina in azione, con cui è combinato mediante una ruota dentata, nasce in ciascun globo la forza centrifuga, per la quale si discostano dalla posizione verticale, e questa deviazione è tanto più grande quanto è più celere il movimento di rotazione. Succede lo stesso fenomeno delle branche delle molle da caminetto che girano intorno al loro asse (§. 372). Siccome la quantità di movimento nei due globi si accresce non solo col moto di rotazione dell'albero, ma ben anche coll'aumentare la distanza dell'asse di rotazione; così, venendo ad aumentare la forza motrice, trova questa nel regolatore un ostacolo tanto più grande a produrre l'acceleramento; ed all'inverso, diminuendo la forza, essa incontra nel regolatore meno ostacolo a mantenere il movimento. Inoltre i due globi innalzandosi od abbassandosi traggono con sè e spingono un collarino C mediante due verghette *mn*, *pq*, e lo fanno scorrere sull'albero verticale. Il collarino è dunque ora innalzato ed ora abbassato, secondo che i due globi G s'innalzano e s'abbassano: ed in tal modo, appoggiandosi ad un braccio di leva, esso apre o chiude più o meno un'apertura per lasciare sfuggire il vapore sovrabbondante in maggior o minor quantità; in questa maniera eziandio il regolatore contribuisce a tenere costante la forza motrice.

488. Noi abbiamo, con alcuni esempi, fatto un cenno dei vantaggi delle machine, ma essi sono in molto maggior numero, ed appartiene alla mecanica di mostrare nella sua amplitudine i diversi casi di movimento, di applicazione delle forze animate od inanimate, del modo di regolarne l'azione, e di trasmettere più convenientemente il moto e dirigerlo al conseguimento dell'effetto che si desidera. Ci

limiteremo quindi ad indicare in generale i vantaggi, che si ottengono dalle machine applicate ai bisogni delle arti e dell'industria. Primieramente faremo notare che, quando si abbia a produrre un dato effetto, è d'uopo ben riflettere sulla scelta della machina per non essere delusi ed ingannati all'atto pratico; e quindi non confondere l'effetto statico col dinamico (§. 478); non trascurare le resistenze, di cui quanto prima parleremo, e gl'interrompimenti dipendenti dal mecanismo della machina o degli agenti motori (§. 198); in fine esaminare se si diano delle circostanze, in cui si possono spiegare delle forze libere. Dopo ciò diremo che i vantaggi che presentano le machine, si possono ridurre alle quattro classi seguenti, le quali si attengono a quanto altrove si disse (§. 434), cioè ch'*esse servono a comunicare, dirigere, accrescere, diminuire e regolare l'azione immediata della forza* o *potenza e facilitarne l'applicazione.*

I. Le machine presentano il prezioso vantaggio di supplire alla debolezza della forza motrice disponibile per conseguire un dato effetto, e ciò col diminuire l'energia del lavoro prolungandone la durata. Si aggiunga altresì l'altro vantaggio di poter al contrario abbreviare il tempo aumentando proporzionalmente l'intensità della forza. In tal guisa si ha eziandio il comodo di regolare l'azione d'una forza variabile in modo da produrre un moto uniforme. Di questa prima classe si sono appunto presentati degli esempi.

II. Esse prestano aiuto agli agenti motori per evitare e superare gli ostacoli, che sovente impediscono ai medesimi di spiegare più convenientemente la loro forza e di esercitarla in una maniera comoda e vantaggiosa. Un uomo, per esempio, attingerà più comodamente acqua da un pozzo con una carrucola fissa o con un verricello, che traendo la secchia verticalmente all'insù a forza di braccia, le quali, col mezzo della machina, aiutano l'azione della forza stessa, mentre prima la contrariavano.

III. Col mezzo delle machine si ha il grande vantaggio di poter sostituire alla forza degli uomini non solo quella degli animali, ma eziandio l'azione dei motori inanimati, come l'urto delle correnti d'acqua e di vento, la tensione del vapore, l'elasticità delle molle, l'attrazione elettro-magnetica ecc. In tali casi il moto rettilineo alternativo si trasforma in moto rotatorio continuo, ed all'inverso; una forza orizzontale si dirige nella sua azione verticale ed in qualsiasi altro verso; una forza variabile si rende atta a produrre un effetto costante, e così di molte altre trasmutazioni.

IV. Un'altra classe importantissima di vantaggi si ha quando in

un lavoro, essendo la resistenza assai inferiore alla forza del motore, una gran parte di questa forza resta inattiva senza produrre verun effetto. Le machine in tali casi riuniscono parecchie di quelle piccole resistenze per sottometterle simultaneamente all' azione del motore, che diventa in tal modo interamente operativo. Ecco il caso in cui un uomo può fare lo stesso lavoro di parecchi altri senza spendervi un tempo maggiore, impiegando però una maggior quantità della sua forza. Bisogna notare che questo caso non può essere realizzato, quando la forza sia impedita nella sua azione, o in causa di ostacoli che non le permettono di spiegarsi completamente, o in causa di resistenze mecaniche da cui è per la maggior parte consumata. E se le resistenze fossero eguali o superiori alla forza attiva del motore, questo non potrebbe ottenere colla machina l'effetto, che conseguisce senza della medesima. Gli esempi di questa classe si presentano nelle filature e tessiture mecaniche, ed in altre machine delle grandi manifatture; nelle quali si hanno anche i vantaggi appartenenti alla terza classe, ottenendo da un motore inanimato l'effetto, che senza machina si ha soltanto dall'applicazione immediata della forza dell'uomo. In tal maniera colla caduta dell'acqua si giunge a filare ed a tessere il cotone, il lino e la lana. Una donna inoltre che, senza machina, può esercitare soltanto la sua forza sopra un fuso per filare il lino; con una machina, riunendone 15 in 20, giunge nello stesso tempo a fare un lavoro 15 in 20 volte maggiore. In questo caso però impiega una maggior quantità della sua forza, la quale nella filatura a mano rimaneva inoperosa.

489. Abbiamo considerata la resistenza, che succede quando uno o più solidi in movimento, dapprima separati da qualunque intervallo, si riscontrano tutto ad un tratto, e si produce sempre una comunicazione di moto (§§. 229, 469 e seguenti). Ora importa di prendere in esame alcune piccole resistenze, che ad ogni istante si oppongono al moto dei corpi.

Le superficie dei corpi anche i più levigati, osservate col microscopio, presentano un gran numero di piccole irregolarità, dei risalti e dei solchi: talchè, quando uno di essi riposa sopra l'altro, le parti prominenti e le cavità vicendevolmente s'incastrano, e scemano oppure impediscono del tutto l'effetto della forza, la quale tende a schiantare quei risalti o a rompere il margine di quelle sinuosità, oppure a discostare le due superficie in modo che il contatto abbia luogo soltanto fra i punti più saglienti. La resistenza, che i corpi in

Digitized by Google

tal modo oppongono alla forza diretta a metterli in movimento, chiamasi *attrito* o *sfregamento*.

Si distinguono generalmente due speciè d'attrito: quello che ha luogo nel moto d'un corpo sdrucciolando o strisciando sopra un piano, e che dicesi *attrito radente* o di *prima specie*; e l'altro che nasce dal ruzzolare o dal rivolgersi un corpo cilindrico o rotondo su d'un piano, e che appellasi *attrito volvente* o di *seconda specie*. Parecchi meccanici aggiungono un altro genere di sfregamento chiamato *attrito composto* o di *terza specie*, il quale si ha dal moto di rotazione d'un asse in una cavità circolare, o da questa sull'asse; come è quello della sala del carro entro il mozzo della ruota.

490. Dalla natura stessa dell'attrito d'ogni specie si scorge come deve influire sul moto dei corpi; dapprima ritardandolo, e in fine estinguendolo del tutto. Infatti, per piegare o sollevare quelle prominenze, o per rompere il margine di quelle cavità, è mestieri che s'impieghi porzione della forza con cui il corpo si muove a scapito della velocità, di cui esso è fornito. Se nel moto il corpo non incontrasse veruna resistenza, si è già veduto che esso, per l'inerzia, dovrebbe continuare indefinitamente sino a che un'altra forza si opponesse al moto medesimo (§. 216).

Avanti d'occuparci della valutazione dell'attrito nelle diverse circostanze, noteremo ch'esso logora ed accelera il consumo delle machine e degli oggetti e dei corpi, che si sfregano. In tutti i lavori dell'arte, in tutte le machine, in tutti i corpi si osserva coll'uso o col tempo un'alterazione ed una diminuzione di massa. Le vesti, le suppellettili, gli ornamenti, al pari delle machine, si logorano e si consumano cogli anni, perdendo in causa dell'attrito le loro primitive forme. Le materie anche le più dure e le più compatte sono pure soggette a tale deperimento. I rasoi, i coltelli, le scuri, le pialle e parecchi altri somiglianti strumenti perdono in breve il filo del loro tagliente; e il vomero dell'aratro ha pure bisogno d'essere affilato per essere corroso e smussato dal continuo sfregamento contro la terra che fende. I ferri dei cavalli, i cerchi delle ruote e molti utensili e parecchie suppellettili di ferro si logorano nell'egual maniera. In tutti questi sfregamenti si dividono e si distaccano dalla massa del solido particelle esilissime di materia, che si mischiano con altre sparse sul globo. Non dobbiamo quindi maravigliarci se spesso si rinviene il ferro misto alla terra sul suolo. Se l'oro fosse d'un uso così comune come il ferro, si diffonderebbe nell'egual modo sulla superficie della terra. Con questo metallo però sono formate parecchie monete e

molti ornamenti, per cui non deve far meraviglia se qualche alchimista, in gran quantità di materie passate nel crogiuolo, abbia ritrovato delle piccolissime particelle d'oro. Far dell'oro in questa guisa è cosa possibile; ma non se ne otterrebbe in quantità sufficiente per pagare le spese dell'operazione.

Lo sfregamento in alcuni casi riesce di qualche utilità. Le lime, le mole, le coti, le macine ed altri solidi servono con vantaggio nelle arti mediante i loro attriti esercitati dalle superficie rese appositamente scabre. Gli uomini e gli animali non potrebbero staro in piedi con sicurezza sul suolo, se l'attrito non impedisse loro di sdrucciolare sul medesimo; e i nodi delle funi e dei canapi si scioglierebbero pel più piccolo sforzo, e la bietta non rimarrebbe nella fenditura dove è conficcata. Parimenti l'industria, che in molti casi cerca di diminuire l'attrito, in alcuni altri si studia d'aumentarlo; come è il caso della *scarpa* e del *freno*, che si applicano per aumentare l'attrito nelle ruote dei carri e delle carrozze nel caso di ripide discese, allo scopo d'impedire un acceleramento che riescirebbe pericoloso.

491. Gli elementi, che possono avere qualche influenza sull'attrito sono: 1° La *pressione* con cui il corpo gravita sulla superficie sfregata; 2° La *specie* delle materie fra le quali succede lo sfregamento; 3° Le *scabrosità* e le *ineguaglianze* sparse sulle superficie sfregantisi; 4° L'*estensione delle parti* poste a contatto; 5° La *durata* del loro scambievole combaciamento; 6° Infine la *velocità*, con cui succede il moto. Riesce assai difficile di stabilire delle leggi generali per valutare in ogni caso la resistenza d'attrito. La tessitura delle superficie, il loro grado di consistenza, la pieghevolezza delle loro prominenze, la forma e le dimensioni del risalti e delle cavità di cui sono fornite, non solo variano nei solidi di diversa natura, ma eziandio in quelli della stessa specie. La sola esperienza in ogni caso può somministrarci l'esatta valutazione dell'attrito.

Gli apparati diretti ad istituire le sperienze intorno all'attrito chiamansi *tribometri*. Essi differiscono nella loro costruzione mecanica secondo la specie di sfregamento che deve essere sottoposto alla prova. Alcuni fisici e geometri hanno cercato coll'esperienza di determinare la resistenza d'attrito e ricavarne delle leggi generali. I risultati ottenuti da Coulomb in Francia e da Zimenes in Italia sono i più attendibili. Il tribometro per istudiare da essi l'attrito della prima specie è in sostanza lo stesso. Una lunga tavola di legno disposta orizzontalmente serve di piano, su cui viene messo il corpo sottoposto al cimento. Su questa tavola riposa una specie di treggia

Digitized by Google

egualmente di legno, la quale è munita d'un uncino, cui si attacca una funicella che, estendendosi parallelamente alla tavola, si accavalla ad una carrucola fissa sopra un sostegno assicurato all'estremità della tavola medesima. Al capo della fune pende un bacino, su cui si mettono i pesi necessarii ad indurre un principio di movimento nella treggia; oppure si agisce col mezzo di una leva a stadera, portando il romano sul braccio più lungo alla distanza voluta per conseguire lo stesso effetto. I pesi posti sul bacino unitamente a quello del bacino stesso, o la divisione cui bisogna condurre il romano sul braccio della stadera indicano in ogni caso la misura dell'attrito. Inchiodando al disotto della treggia due regoli di legno si variano le grandezze delle superficie sfregantisi; ed assicurando ad esse lamine di diversi corpi si può variare la natura delle superficie medesime. Caricando le treggie di pesi differenti si riconosce l'influenza che la pressione esercita sull'attrito. Ecco i risultamenti ottenuti con apparati somiglianti al descritto.

I. L'attrito radente, a pari circostanze ed entro certi limiti, è proporzionale alla pressione; cioè, chiamando p la pressione, lo sfregamento è espresso da cp, in cui c è un coefficiente costante per la stessa materia e sotto le diverse pressioni. Si disse entro certi limiti, giacchè secondo gli sperimenti il coeficiente varia un poco dalle piccole alle grandi pressioni. Coulomb, per esempio ha trovato che, con pressioni le quali variano da 400 a 1300 chilogrammi per metro quadrato, il rapporto c ha variato soltanto da $\frac{100}{236}$ a $\frac{100}{240}$. Quando dunque le pressioni siano abbastanza grandi, le differenze riescono di niun momento e possono essere trascurate senza errore sensibile.

II. L'attrito radente varia secondo la natura delle materie e l'omogeneità delle medesime. Infatti fra legni nuovi e piallati è $c=\frac{1}{2}$, e fra i metalli levigati e puliti $c=\frac{1}{4}$; mentre fra legni e metalli risulta $c=\frac{1}{3}$. Parimenti fra ferro e ferro $c=\frac{5}{18}$, e fra ottone ed ottone $c=\frac{1}{4}$; mentre tra ferro ed ottone si ha $c=\frac{1}{5}$. Nei metalli principalmente l'attrito diminuisce coll'eterogeneità delle materie sfregantisi ed è per questa ragione che la mastietatura dei compassi si costruisce di ferro ed ottone per avere minor attrito. Questa

variazione sembra consentanea a quanto ci suggerisce la ragione, la quale ci fa accorti che fra le prominenze e le cavità delle materie eterogenee deve esistere minore corrispondenza che fra quelle delle superficie omogenee, e per conseguenza minor attrito.

III. L'attrito di prima specie cresce colle ineguaglianze e colle scabrosità, e diminuisce a misura che le superficie vengono appianate e levigate. Nel lungo sfregamento le superficie si logorano e si rendono più eguali e più liscie, è appunto per ciò che coll'uso lo sfregamento vien meno. Nei legni, per esempio, da $c=\frac{1}{2}$ si riduce coll' uso $c=\frac{1}{3}$. Quando le fibre del legno s'incontrano ad angolo retto, l'attrito riesce minore di quando sono parallele; ed è per tal ragione che in essi discende sino a $c=\frac{1}{4}$.

IV. L'ampiezza delle superficie poco o nulla contribuisce a far variare l'attrito, rimanendo costante la pressione e tutte le altre circostanze. Un parallelepipedo di legno a faccie disuguali, manifesta sulla tavola del tribometro eguale resistenza d'attrito tanto che sfreghi sulla medesima colla faccia minore quanto colla maggiore. Essendo la medesima pressione in ogni caso, essa eserciterà sopra ogni punto della superficie più piccola uno sforzo proporzionalmente maggiore che su ogni punto della superficie più grande; e quindi s'intende come la maggior pressione sulle parti sfregantisi supplisca al numero delle medesime.

V. L' attrito radente prova in alcune circostanze delle variazioni, secondo la durata del combaciamento, e cresce per un certo tempo, dopo il quale giunge al massimo e rimane costante. Questo tempo è di qualche minuto nei legni, ed impercettibile ne' metalli, e nei legni sovrapposti ai metalli dura parecchi giorni, e si prolunga di molto coll'ungere la superficie. Il qual tempo si manifesta maggiore per le superficie estese ed eterogenee. Nei legni usati, le cui fibre s'incontrano ad angolo retto, l'attrito del primo distacco $c=\frac{1}{4}p$ si riduce nel moto continuo ad $\frac{1}{8}p$. Parimenti fra legni e metalli l'attrito del primo distacco $\frac{1}{5}p$, diventa in un moto lento e continuato $\frac{1}{12}p$. La maggior resistenza che si

prova nel primo distacco dipende dall'adesione dei due corpi posti a combaciamento, o dalla coesione del liquido interposto se esso bagna i due solidi (§. 89).

VI. Disponendo il tribometro in modo che il piattello possa discendere per lungo intervallo senza ostacolo e trarre a sè la treggia, si può osservare se la velocità faccia variare l'attrito. Coulomb lasciava scorrere alla treggia l'intera lunghezza della tavola, e con un pendolo a mezzi secondi confrontava il tempo, che quella impiegava a descrivere la prima metà della lunghezza, con quello impiegato a percorrere l'altra metà. Il primo tempo riusciva presso che doppio del secondo; da cui è facile dedurre che il moto era uniformemente accelerato e per conseguenza l'attrito non faceva variare la legge della caduta dei gravi (§. 328) rimanendo costante e non variando colla velocità. Infatti sia $2d$ la lunghezza della tavola: è chiaro che, pel moto uniformemente accelerato, deve essere (§. 241) per la prima metà della lunghezza $d=\frac{gt^2}{2}$, e quindi $t=\frac{\sqrt{2d}}{\sqrt{g}}$, e per l'intera lunghezza $2d=\frac{gT^2}{2}$, e perciò $T=\frac{\sqrt{4d}}{\sqrt{g}}$. Il tempo dunque t', in cui viene percorsa la seconda metà della lunghezza della tavola, sarà espresso da $T-t=\frac{\sqrt{4d}-\sqrt{2d}}{\sqrt{g}}$. I tempi t, t' impiegati nelle due metà daranno, dopo le riduzioni, $t:t'::\sqrt{2}:\sqrt{4}-\sqrt{2}$, ossia $t:t'::\sqrt{4}:\sqrt{8}-\sqrt{4}$, o prossimamente $t:t'::2:1$. Il moto dunque era, come si disse, uniformemente accelerato, e l'attrito, non influendo sulla velocità di caduta, rimaneva costante. Si è trovata qualche lieve influenza della velocità sull'attrito fra i legni e i metalli; ma nei legni logori la velocità ha quasi nessuna influenza sull'attrito coi metalli.

492. Per determinare il coefficiente d'attrito, si può far uso d'un altro metodo, il quale per la sua semplicità merita d'essere conosciuto. Formando un piano inclinato coi solidi, di cui si cerca di valutare l'attrito e trovando l'inclinazione più ripida del piano stesso in cui l'altro solido si sostiene, è chiaro che l'attrito sarà espresso dalla gravità relativa $g\text{sen}.a$, mentre la forza premente sarà rappresentata da $g\cos.a$ (§. 325). Ma la resistenza d'attrito è cp, in cui p è la pressione; perciò si avrà $g\text{sen}.a=cg\cos.a$, da cui si deduce $c=\frac{\text{sen}.a}{\cos.a}=\text{tang}.a$, ossia $c=\frac{A}{L}$, dove A è l'altezza ed L la lunghezza del piano.

Si è trovato che i mattoni si sostengono sopra un piano, mediocremente liscio, inclinato sotto l'angolo di 40°; sarà dunque pel mattoni c=tang. 40°, ossia c=0,80, e l'attrito 0,80. p. — Le terre arenose e sciolte si sostengono fra loro sotto l'inclinazione di 30°, per cui sarà per esse c=0,58, e per conseguenza l'attrito 0,58. p. Le terre forti invece si sostengono sotto l'inclinazione di 36°, e per esse l'attrito sarà 0,73. p.

Per le dimostrazioni nella scuola è necessario avere un modello di *tribometro a piano orizzontale* e d'un *tribometro a piano inclinato.*

493. Il tribometro che serve per la seconda specie d'attrito consiste in due regoli paralleli ed orizzontali poste fra loro a distanza tale da potervi appoggiare un cilindro perpendicolarmente alla loro lunghezza. Corrispondente all'intervallo dei due regoli si accavalla al cilindro una funicella molto flessibile, la quale ai suoi capi porta duo pesi eguali, che si equilibrano e premono il cilindro contro i regoli.

Disposte in tal maniera le cose, si accresce da una parte tanto di peso quanto basta per dare e mantenere al cilindro un moto lento e continuo. Questo peso misura, come è chiaro, la resistenza d'attrito che prova il cilindro nel rivolgersi su quei piani. Il cilindro verso le parti estreme ha minor diametro, per cui l'apparato presenta il comodo di variare il diametro della parte ruotante sui piani; inoltre vi sono annessi cilindri formati di diverse materie, assicurando ben anche sui regoli lamine di natura differente per vedere se l'attrito volvente varia nei diversi corpi. Si può altresì variare la pressione variando i due pesi eguali appesi alla fune. Per avere con maggior esattezza la misura dell'attrito mediante l'aggiunta del piccolo peso, che rompe l'equilibrio, si fanno due prove, aggiungendolo prima da una parte della funicella e poscia dall'altra. Se fra questi pesi addizionali passa poca differenza, si prende la media di essi, che dà il valore dell'attrito; altrimenti si esamina quale circostanza possa produrre il divario. Da sperienze istituite nel modo descritto si è trovato:

I° L'attrito volvente cresce coll'aumentare la pressione. II. Esso segue prossimamente la ragion inversa del diametro del cilindro del cerchio ruotante. III. Varia secondo le diverse materie che si sfregano, essendosi trovato che un cilindro di guaiaco del diametro di metri 0,081 nel ruotare sopra un piano di rovere, ha per attrito 0,006. p, e nel ruotare sopra un piano d'olmo 0,010. p.

Importa di avere un modello anche del *tribometro per l'attrito volvente* ad uso delle dimostrazioni nella scuola.

Digitized by Google

494. Per istituire le sperienze dell'attrito composto il tribometro si compone d'un cilindro, il quale verso le estremità è di due grossezze, ossia termina in perni, l'uno di diametro doppio dell'altro. Il cilindro col mezzo dei perni riposa orizzontalmente sopra due cuscinetti appoggiati sopra piedritti, nei quali sono praticate le apposite incassature per sostituirvi cuscinetti di differenti materie fornite delle opportune cavità per ricevere i perni. Il cilindro tiene avvolta una fune aggravata di pesi, come nel tribometro dell'attrito volvente. La misura dell'attrito si ottiene egualmente con un peso addizionale, e la pressione si varia, variando i due pesi attaccati alla fune.

Per avere dal peso addizionale a dirittura il coefficiente d'attrito, bisognerebbe ch'esso e la resistenza tendessero a far succedere e ad impedire la rotazione con l'egual braccio di leva. Ma il peso addizionale esercita la sua azione col raggio del cilindro; laddove l'attrito reagisce col raggio del perno: e si sa che le due forze sono in ragion inversa di quei raggi (§. 456). Bisognerà dunque, per avere la giusta misura del coefficiente d'attrito, moltiplicare il peso addizionale pel raggio del cilindro diviso per quello del perno. Ecco i risultati ottenuti con questo tribometro.

I. L'attrito composto risulta prossimamente proporzionale alla pressione; e si dice prossimamente perchè esso, come il radente, diventa un poco minore sotto le grandi pressioni. II. È in ragion diretta del diametro dei perni o dell'asse, o della cavità corrispondente entro cui ha luogo la rotazione. III. Varia secondo la diversa natura delle materie, di cui sono formati i perni e le cavità. Così per un asse di ferro e la cavità di rame è il coefficiente $c = 1/7$ e quando la cavità è di legno risulta $c = 1/12$. IV. Non dipende dalla velocità, che si esperimenta nella stessa maniera dell'attrito di prima specie.

Nelle scuole si avrà un modello del *tribometro per l'attrito composto*, con cui mostrare la maniera d'istituire gli sperimenti nei diversi casi.

495. L'attrito radente è maggiore del composto e questo del volvente; il che si può dimostrare con un solo tribometro esistente in alcuni gabinetti di fisica. Esso è somigliante al tribometro della machina d'Atwood, in cui l'asse d'una ruota si muove sull'intersecazione delle periferie di quattro altre (§. 250); ma ha di più che l'asse della quinta ruota si può altresì appoggiare entro opportune cavità per cambiare in composto l'attrito volvente che provava nel moversi dapprima sulle periferie delle quattro ruote. Vi ha inoltre una lamina di metallo che si può mettere a combaciamento

con l'asse della quinta ruota, ed avere fra i due corpi l'attrito radente. Una molla d'acciaio avvolta attorno a se stessa per un determinato numero di giri, fa oscillare la quinta ruota, la quale, se è aggravata sul suo asse della lamina, prova nel suo moto gli effetti dell'attrito radente; se invece gira semplicemente sulle intersecazioni delle altre quattro ruote, prova quelli del volvente; e se ruota col suo asse nelle cavità, prova quelli del composto. Siccome in ogni caso è sempre la forza della molla, che produce le oscillazioni della quinta ruota, e che è proporzionale al quadrato del numero delle medesime (§. 400); così da questo numero si potrà dedurre la quantità di forza che viene distrutta nell'attrito composto e nel radente in confronto del volvente; e quindi metterc a confronto fra loro le tre specie d'attrito.

L'attrito volvente riesce minore delle altre due specie, in quanto che il moto progressivo di rotazione contribuisce efficacemente allo sviluppo delle prominenze dalle rispettive sinuosità. Egli è perciò che il moto volvente si preferisce nelle arti al moto radente e di rotazione semplice o stazionaria (§. 459).

Nelle slitte in moto ha luogo l'attrito radente, il quale, per quelle che sdrucciolano sul ghiaccio o sulla neve, riesce non molto grande, prestandosi questi corpi a tal moto per essere le loro prominenze facili ad essere rotte ed eguagliate. Il moto dei carri e delle carrozze offre l'attrito volvente della ruota sul terreno e quello composto della sala nel mozzo. Quest'ultimo rimane costante nelle stesse circostanze; ma il primo varia ad ogni momento, secondo la qualità del piano su cui trascorre la ruota. Incontrando questa un terreno consistente e duro, l'attrito riesce minore di quando trova un terreno cedevole e molle. Nelle strade ferrate, movendosi la ruota sopra guide di ferro, l'attrito volvente riesce molto minore e conserva una certa costanza. Per una debole velocità la resistenza dei due attriti, volvente e composto, si valuta sulle strade ferrate di circa 3 $^1/_2$ per 1000 di pressione (1): cioè il coefficiente è di 0,0035.

Nelle grandi velocità diventa sensibile la resistenza dell'aria, la quale aumenta coll'aumentare la velocità; per cui, volendo in questo caso la sola resistenza d'attrito, bisogna detrarre dal risultato avuto nell'osservazione la resistenza dell'aria (2).

(1) Vedi gli *Annali di fisica, chimica* ecc. succitati, tom. XXIII. pag. 320.
(2) Vedi *Annali suddetti*, tom. XV, pag. 222.

Digitized by Google

496. Gli effetti dell'attrito radente e composto vengono diminuiti spalmando con materie untuose e grasse le superficie, che si sfregano; il che non si ottiene pel volvente. La diminuzione di quelle due specie d'attrito riesce tanto più grande, quanto più l'unto in generale è consistente e di fresco applicato. L'attrito delle superficie lubricate da qualche tempo può essere considerato medio fra quello delle superficie asciutte e quello delle superficie di fresco spalmate. Il sego, recentemente applicato, scema la prima e terza specie d'attrito di circa la metà. Le materie untuose si consumano col tempo, ma con maggior lentezza nell'attrito composto che nel radente. Gli olii servono per scemare l'attrito fra i metalli, il sapone fra i legni.

497. Le funi sono elementi costitutivi di parecchie machine, come le carrucole, i torni e simili, e devono nel moto essere continuamente piegate in alcune parti e raddrizzate in altre. In questi successivi piegamenti, richiedendosi una forza, la potenza motrice trova un ostacolo al moto, che chiamasi *rigidezza delle funi* o *dei canapi*. Nei fili e nelle funicelle flessibilissime questa resistenza riesce insensibile; ma nelle grosse funi delle arti, nei canapi e nelle gomene essa diventa di qualche entità. Si osserva altresì che la fune, non adattandosi esattamente per la sua rigidezza sul cilindro del tornio o d'altre machine, cambia il braccio con cui agisce la resistenza, ne aumenta il momento ed altera quindi le condizioni dell'equilibrio e del moto.

La rigidezza delle funi varia: I. secondo la tensione o la forza da cui è stirata; II. secondo la sua diversa qualità, fabbrica e preparazione; III. secondo la sua grossezza o il suo diametro; IV. secondo il raggio della girella o del cilindro attorno a cui è avvolta. L'esperienza sola, come nell'attrito, ci può illuminare intorno all'influenza di queste circostanze sulla rigidezza delle funi.

Per esperimentare la rigidezza delle funi serve un apparato somigliante al tribometro per l'attrito volvente (§. 491). Invece del cordoncino flessibilissimo, si fa uso della fune o del canape di cui si vuole mettere al cimento la rigidezza. Il peso, che rompe l'equilibrio, misurerà in questo caso l'attrito volvente unitamente alla rigidezza della fune. Bisognerà pertanto levare da quel peso la parte devoluta al solo attrito, che si sarà previamente determinato col cordoncino flessibile nel modo insegnato, il residuo darà il valore richiesto della rigidezza della fune. L' *apparato per la rigidezza delle funi*, indipendente dall'attrito volvente, si compone di due tratti della fune, che si sottopone alla prova, appesi per le loro estremità a due punti fissi e pendenti parallelamente fra loro. Si avvolgono le funi

ad un cilindro di dato diametro, e si tengono tese con gravi più o meno pesanti attaccati alla loro estremità inferiore. Il cilindro si dispone orizzontalmente ed ha avvolto nel suo mezzo un cordoncino flessibilissimo congiunto ad esso per un'estremità, mentre all'altra si appende il peso necessario a mettere in moto il cilindro ed a farlo svolgere ed avvolgere successivamente a nuove parti delle due funi. Questo peso indicherà la rigidezza delle funi medesime. Con esperimenti istituiti mediante l'uno o l'altro apparato si sono ottenuti i risultati seguenti:

I. Variando il peso che tende il canape, la rigidezza per una parte rimane costante e per l'altra riesce proporzionale alla tensione. Talchè questa resistenza è espressa da $a+bp$; essendo a la parte costante, b il coefficiente di rigidezza, e p la tensione della fune. Nella pratica delle arti si suole ritenere la rigidezza delle funi proporzionale al peso, da cui sono tese; il che si verifica quanto più è piccolo a in confronto di b.—II. La rigidezza della fune varia moltissimo secondo la qualità e la preparazione della materia con cui è fatta, e secondo il modo di fabbricazione, per la ragione che diverse e variabilissime riescono le manipolazioni, e varii i metodi per fabbricare le funi. In generale diremo che la rigidezza è tanto più grande quanto più le funi sono nuove ed attorte, e che le funi impecciate sono più rigide delle bianche. I valori di a, b per due funi, l'una bianca e l'altra coperta di pece, ciascuna della circonferenza di millimetri 63,2 ed avvolte ad un cilindro del raggio di millim. 54,1, furono trovati come segue:

per la fune bianca—a=chilogr. 2,06——b=0,090
per la fune impecciata—a= « 3,26——b=0,116

Da questi dati si può prendere norma per apprezzare la resistenza della rigidezza delle funi in altri casi.—III. La rigidezza delle funi varia in un rapporto un poco maggiore del diametro o della circonferenza. Chiamando d il diametro o la circonferenza, il rapporto è d^n, dove l'esponente è maggiore dell'unità. Due funi molto usate, l'una delle quali era di grossezza doppia dell'altra, si sono trovate avere la loro rigidezza nel rapporto di $2^{1,4} : 4^{1,7}$, ossia di 1,4.log. 2 : 1,7.log.4, oppure come 1 : 2,64. Da ciò si vede che la fune di doppia grossezza presenta una rigidezza un poco più del doppio dell'altra.—IV. La rigidezza delle funi è in ragion inversa del diametro del cilindro, su cui si avvolgono. — Infine diremo che la velocità non fa subire veruna variazione nel valore della rigidezza delle funi.

Digitized by Google

498. Allorchè si vogliono mettere in moto i solidi, siano essi isolati ed indipendenti, oppure collegati fra loro, oltre dover vincere l'*inerzia delle masse* da moversi (§. 187), e il *momento della resistenza* (§. 181), bisogna superare gli ostacoli dichiarati, che si oppongono al moto, quali sono gli *attriti* (§. 489), la *rigidezza delle funi* (§. 497) e lo *scontro di altri corpi* siano essi solidi o fluidi (§. 469). Si dovrebbe inoltre prendere in considerazione l'adesione (§. 77) come ostacolo al moto; ma essa, nella maniera con cui si muovono i corpi gli uni sugli altri, non riesce di gran momento, e si valuta assieme alle altre resistenze. Di tutte queste resistenze si deve tener conto; giacchè esse si sviluppano tosto che ha incominciamento il moto e si oppongono alla sua generazione. Tutto ciò che abbiamo detto servirà ad illuminare chi abbia per iscopo d'impiegare una potenza qualunque alla produzione del moto in una data resistenza, prendendo in contemplazione gli ostacoli, di cui si è discorso. Osserveremo altresì che gli sperimenti istituiti per dedurre delle norme generali intorno alle resistenze meccaniche, che nascono nel moto, valgono a rigore pel caso particolare cui si riferiscono; e quando si abbia a determinarle si è di applicare ad un modello della machina la potenza P per vincere la resistenza R, secondo i principii insegnati, e il di più che abbisognerà pel conseguimento dell'effetto darà il valore di tutte le resistenze meccaniche. L'esperimento deve essere istituito sopra un modello esattamente proporzionale alla machina da costruirsi in grande, onde aver la stima delle resistenze nell'eguale proporzione e molto prossima al vero.

Avanti di dar termine alla dinamica dei solidi, dobbiamo altresì notare d'aver riguardo, nel moto dei corpi, e principalmente delle machine, di evitare qualunque contrasto od urto delle parti che si muovono; per la ragione che, soltanto nei corpi perfettamente elastici, il moto perduto nel primo istante dell'urto si guadagna collo sviluppo dell'elasticità (§. 470); ma negli altri corpi ne va perduta una certa quantità principalmente se sono inelastici (§. 229). Volendo dunque che non vada dispersa veruna parte dell'azione della forza, bisogna procurare che non succeda giammai verun urto nelle parti dotate di movimento in contrario verso.

499. Termineremo il capitolo, cui appartiene questa sezione, con alcuni problemi per esercizio, dando soltanto il risultato della loro soluzione.

I. Un grave riposa sopra due piani inclinati posti l'uno a rincontro dell'altro, si cercano le pressioni esercitate sui medesimi. —

Denominando con P, P' le due pressioni, con α, α' gli angoli rispettivi dei due piani, e con a l'angolo sotto cui essi s'incontrano, si trova per le pressioni medesime $P=\frac{R.\,sen.\alpha'}{sen.\,a}$, $P'=\frac{R.\,sen.\alpha}{sen.a}$, essendo R il peso del grave.

II. Un grave è ritenuto sopra un piano inclinato da un'altro verticale. Si domanda la pressione esercitata dal grave stesso su quest' ultimo.—La pressione richiesta è $P=\frac{R.sen.\alpha}{cos.\alpha}$, mentre $P'=\frac{R}{cos.\alpha}$ è quella esercitata in tal caso sul piano inclinato.

III. Un grave è collocato contro una parete verticale irremovibile, si desidera sapere qual forza bisognerà impiegare per ispingere sotto di esso un piano inclinato e sollevarlo dal suolo, su cui riposa. — Denominando con a l'angolo sotto cui la direzione della forza incontra la lunghezza del piano inclinato, si ha per valore di questa nel caso proposto $P=\frac{R.sen.a}{cos.\alpha}$. Si dedurrà facilmente il valore di P, quando la forza agisce parallelamente alla base del piano inclinato.

IV. Ai capi d'una fune, avvolta ad una carrucola fissa, pendono in equilibrio due gravi, giacenti su due piani inclinati; si vuol conoscere il rapporto dei pesi dei gravi medesimi. — Notando con M, N i pesi dei due gravi, con α, α' gli angoli dei piani inclinati, e con a, a' gli angoli sotto cui i tratti di fune incontrano le lunghezze dei medesimi, si ha pel rapporto domandato $\frac{M}{N}=\frac{sen.\alpha'.cos.a}{sen.\,a.cos\alpha'}$. Se i tratti della fune sono paralleli ai due piani e questi abbiano eguale altezza, allora i pesi dei due gravi seguono la ragion diretta delle lunghezze dei piani medesimi; e se invece sono dell'eguale lunghezza ed i tratti della fune egualmente paralleli, i pesi stessi sono in ragion inversa delle altezze dei piani.

Molti altri problemi si possono proporre combinando assieme in diverse maniere le machine semplici.

CAPITOLO SECONDO

DELLE PROPRIETA' DEI CORPI LIQUIDI.

500. I liquidi sono parecchi di numero; e in quanto alle loro proprietà fisiche e mecaniche poco importa di conoscerne la natura, dalla quale dipendono le loro chimiche proprietà. I solidi liquefatti in virtù del calorico seguono in tale stato le medesime leggi

Digitized by Google

dei liquidi, i quali conservano la loro fluidità al calore ordinario ed alcuni a basse temperature. Fra tutti i liquidi, l'acqua interessar deve più d'ogni altro le indagini del fisico per essere essa universalmente sparsa sulla terra, presentarsi in tante svariate maniere nei fenomeni della natura e prestarsi in un numero indefinito di casi alle operazioni ed ai bisogni dell'uomo ed agli usi della società. Riunita infatti in enormi masse nei bacini dei laghi e dei mari e trascorrente sul letto dei fiumi, l'acqua serve di veicolo alle navi ed ai bastimenti per istabilire una comunicazione fra popoli di diverse regioni e di lidi lontanissimi. Col peso e colla percossa benanche, essa diventa il motore d'un gran numero di machine ingegnose ed utilissime. E se l'uomo ha a disposizione una potenza superiore a quella, che comunemente si ottiene dall'acqua; egli la deve allo stesso liquido convertito in vapore. L'acqua è il mezzo dove vivono parecchi esseri organici; essa serve di bevanda all'uomo ed a quasi tutti gli animali, che popolano la terra e l'atmosfera. Un tal liquido è uno dei principali agenti della vegetazione; e le sitibonde biade ricevono dal medesimo nuovo vigore e nuova vita. Nel suo seno si sono formati e di continuo si formano parecchi preziosi minerali, ai quali l'umana industria sembra dare nuova esistenza, elaborandoli pei nostri usi. Secondo le variazioni di calore, l'acqua si presenta nelle diverse stagioni dell'anno allo stato di liquido, di solido e di aeriforme; e nei nostri climi la vediamo d'ordinario allo stato di liquidità, ed anche a trasformarsi in vapore e riunirsi in voluminosi ammassi galleggianti nell'atmosfera conosciuti sotto il nome di *nubi* o di *nuvole*; e nell'inverno a riconsolidarsi in masse di ghiaccio, che ci è di ristoro durante l'estate. Nelle regioni vicine al polo e sopra gli elevati monti dei continenti, si accumula l'acqua allo stato solido e forma quelle ghiacciaje perpetue, che alimentano nella calda stagione i fiumi e forniscono ad alcuni canali il veicolo per la navigazione, pel prosperamento del commercio e la facilità delle comunicazioni; e ad altri il principio per l'irrigazione a vantaggio dell'agricoltura rendendo più rigogliose le biade dei nostri campi.

Le molecole dei liquidi sono presso che indipendenti le une dalle altre, potendosi le due forze antagoniste della coesione e del calorico considerare quasi fra loro in equilibrio (§. 10). Per quanto la coesione sia tenue in ogni liquido, essa però riesce in alcuni abbastanza sensibile col renderli meno scorrevoli e d'una *fluidità imperfetta*. Si dicono *viscosi* quei liquidi, che manifestano un tale stato di fluidità, e che, venendo sottoposti all'azione del calorico o nel vuoto,

sviluppano con difficoltà le bolle d'aria allogate nei loro interstizi, le quali, per l'espansibilità, cercano di vincere la coesione delle particelle liquide e formano le vescichette costituenti la schiuma (§. 64). È appunto per questa ragione che le bollicine d'aria si sollevano in tal modo più lentamente nell'olio che nel latte, e più lentamente nel latte che nell'acqua; ed è per la stessa cagione che il butirro e le sostanze grasse, le gomme, le resine ed altri solidi liquefatti sopportano un forte calore prima di lasciare sfuggire dai loro pori l'aria ed i vapori, che si formassero nelle parti inferiori sottoposte direttamente all'azione del fuoco. Ingannano così con effervescenze istantanee e pericolose le persone, che assistono all'operazione. La causa della viscosità sembra che non risieda nella sola coesione. Infatti, quantunque gli olii siano più viscosi dell'acqua, sperimentando però col metodo altrove indicato (§. 85), si trova che quello d'olive, per esempio, ha minor coesione dell'acqua stessa. La maniera d'aggregarsi delle molecole e qualche altra circostanza consimile potrebbe avere qualche influenza sul fenomeno della viscosità.

Si è veduto che i liquidi si possono ritenere come incompressibili (§. 161) e come inelastici (§. 171) sotto le forze ordinarie. Nel trattare quindi dei liquidi allo stato d'equilibrio e di moto, non solo essi si considerano come dotati di molecole indipendenti le une dalle altre, ma eziandio come corpi incompressibili ed inelastici. Essendo però queste supposizioni approssimative e non conformi al vero, avviene talvolta che i risultati dedotti dalla teorica, non corrispondono con quelli datici dall'esperienza: in tal caso si corregge l'una con l'altra. Da queste dichiarazioni si ricava che nello studio dei liquidi si fa astrazione da quelle proprietà, e si considera la loro maggior o minor densità, per cui sono *spessi* o *rari*, presentando così al pari dei solidi un peso od una gravità specifica più o meno grande, che influisce sui fenomeni d'equilibrio o di moto. Essi presentano un complesso di dottrine, che costituiscono la fisica mecanica dei corpi liquidi o l'*idromecanica*, che appellasi *idrostatica* od *idrodinamica*, secondo che si occupa dei fenomeni e degli effetti d'equilibrio o di moto, e ciò al pari della divisione adottata pei solidi (§. 416). Questo capitolo dunque sarà in due sezioni ripartito, comprendendo la prima l'*idrostatica* e la seconda l'*idrodinamica*. Aggiungiamo qui che le verità e le leggi dimostrate nell'Idrodinamica e nell'Idrostatica, servono alla condotta delle acque per regolare il corso dei fiumi e dei torrenti, per derivarne canali a profitto dell'agricoltura e della navigazione e per servirsene di forze motrici nelle machine a vantag-

gio delle arti e dell'industria, costituendo così quella scienza applicata che chiamasi *idraulica*.

SEZIONE I.

Della statica dei liquidi od idrostatica.

501. La differenza essenziale fra i solidi ed i liquidi si è che, applicando una forza al punto d'una massa dei primi, questa prova, per intero l'effetto della forza medesima senza che l'intero corpo cambi di forma. Succede ciò in virtù della coesione la quale, tenendo strettamente congiunte le molecole, pone in situazione quella, su cui agisce direttamente la forza, di strascinare con sè tutte le altre, e basta per l'equilibrio di opporvi l'azione d'altra forza di eguale momento della prima. Al contrario le molecole d'una massa liquida, non avendo coesione sensibile, fanno cambiare forma alla massa medesima, quando non siano premute egualmente per ogni verso, e l'azione d'una forza applicata ad una di esse si estende in quelle direzioni ove le pressioni sono minori. Da questo si deduce *il principio dell'eguaglianza di pressione*, il quale consiste *nel trasmettere i liquidi in tutte le loro parti la pressione esercitata sopra un punto qualunque della loro superficie, di maniera che, allo stato d'equilibrio, tutte le loro molecole sono egualmente premute.*

Questa trasmissione della pressione dei liquidi per ogni verso è dunque distrutta nei solidi dalla coesione e rimane in essi soltanto la pressione diretta nel verso della forza. Talchè, se una massa liquida premuta da una forza si riconsolidasse, essa sarebbe ancora in equilibrio, ma la coesione farebbe scomparire le pressioni laterali; e non si potrebbe dire lo stesso d'una massa solida passando allo stato di liquidità. Su questo principio è fondata l'idrostatica. È oggetto poi di questa scienza di determinare le condizioni d'equilibrio dei liquidi, le pressioni che esercitano su se medesimi e sulle pareti dei vasi, dove si contengono; sui corpi in essi immersi dando ragione dei fenomeni e degli effetti che ne nascono e facendo conoscere l'uso degli strumenti che ne derivano.

502. Avanti di occuparci dell'equilibrio dei liquidi e dei differenti fenomeni che essi presentano, importa di far conoscere la *bilancia idrostatica*, colla quale si valutano nei diversi casi le forze che concorrono a produrre l'equilibrio medesimo. Consiste l'apparato in una bilancia di forma delle comuni, fornita dei due gusci *m*, *n* (fig. 93), di cui uno soltanto è destinato a ricevere i pesi. L'asse di

rotazione *o* coincide quasi col centro di gravità del fusto AB; talchè la bilancia riesce molto sensibile e il fusto non si mette così facilmente da sè in posizione orizzontale (§. 442). Per conseguire ciò servono due verghe incurvate *ae*, *bf*, connesse all'asta che porta l'asse, le quali presentano al fusto AB i punti d'appoggio *a*, *b*, su cui esso si dispone orizzontalmente. L'asta è di forma quadrangolare ed entra esattamente in una cavità praticata nella colonnetta ED eretta sul piedestallo P. L'asta medesima è dentata in un lato e i suoi denti imboccano con quelli d'un rocchetto, girevole mediante il manubrio M. Rivolgendo il manubrio in un verso o nell'altro, si fa salire o discendere l'asta e con essa il fusto AB unitamente ai gusci *m*, *n*, che si ritengono nella posizione voluta, mediante un notolino applicato al rocchetto. Vi ha inoltre una leva che si appoggia all'asta disotto del perno e che, premendo un suo braccio, porta l'altro in alto, il quale coll'estremità biforcata prende l'asse e solleva il fusto AB togliendolo dai punti *a*, *b* su cui riposava. Al disotto di ciascun guscio vi ha un piccolo gancio, a cui si fissa l'estremità di un crine, mentre all'altra si attacca il corpo da immergersi nel liquido contenuto nel vaso V. Di quest'apparato vedremo quanto prima l'uso.

303. Dall'indipendenza in cui si trovano le une dalle altre le molecole d'un liquido si è detto che si trae *il principio dell'eguaglianza di pressione*, che diventa il fondamento dell'idrostatica e che è piuttosto un assioma in fisica che una verità da essere dimostrata. Se un tal principio non ha bisogno di dimostrazione, importa però di farlo comprendere. Un liquido, che per ora supporremo senza gravità, sia rinchiuso in una vescica, e questa venga premuta in un qualche punto dalla forza di 1 chilogrammo: una tale pressione si trasmette non solo sulla parete inferiore, ma sui punti laterali e su quei superiori della vescica. Se in ognuno di questi punti si pratica un foro, il liquido zampilla con una forza di un chilogrammo e per tenere chiuso ognuno di questi fori ed impedire l'uscita del liquido, bisogna esercitare su ciascuno dei medesimi lo sforzo d'un chilogrammo, il che prova che la pressione si trasmette in ogni parte e riesce in ogni punto della parete eguale alla forza premente. Se è un vaso fatto di materia resistente pieno del liquido, e con uno stantuffo della sezione, per esempio, d'un centimetro quadrato, si prema il liquido medesimo colla forza di un chilogrammo, questa pressione si trasfonde per ogni verso; e si trova che, facendo un foro d'un centimetro quadrato non solo sul fondo ma nella parete laterale del

vaso, e chiudendolo con un tappo o stantuffo facilmente scorrevole in esso; per tenerlo al suo posto si richiede in ogni parte lo sforzo egualmente d'un chilogrammo. Talchè, se per la faccia interna si attaccasse lo stantuffo ad un cordoncino diretto verticalmente con una carrucola ed appeso al bacino della bilancia idrostatica, per ritenerlo in quella posizione, deducendo la pressione prodotta dalla gravità del liquido, si richiederebbe un peso eguale alla forza con cui il liquido è premuto, cioè ad un chilogrammo.

Questo principio si applica anche ai liquidi pesanti; ma in tal caso bisogna aggiungere alla forza premente quella della gravità stessa del liquido.

504. I liquidi sono pesanti al pari degli altri corpi, premono quindi su se medesimi, gravitando gli strati superiori sugli inferiori. Questa pressione dall'alto al basso, prodotta dalla gravità, si trasmette per ogni verso secondo il principio su esposto, e, se le molecole non sono ritenute, il liquido si spande e tende a portarsi nei luoghi bassi. I liquidi per ciò si possono soltanto raccogliere e conservare in recipienti, che colle loro pareti si oppongono alla pressione della gravità trasmessa dagli strati superiori per ogni direzione sulle molecole inferiori ed impediscano così quello spandimento. Per l'equilibrio dei liquidi contenuti in vasi, in bacini, in capacità qualunque, sono necessarie due condizioni d'equilibrio: I. *Le molecole superiori e libere devono disporsi in una superficie perpendicolare alla forza, da cui sono sollecitate;* II. *Qualsiasi molecola della massa prova per ogni verso pressioni eguali e contrarie.*

Per rispetto alla prima condizione, supponiamo, se è possibile, che la superficie non sia perpendicolare alla direzione di gravità d'ogni molecola, cioè alle verticali che passano per esse; e siavi una porzione di liquido che formi un colmo sulla superficie medesima. È chiaro che questa porzione premerà su se medesima pel peso delle molecole superiori, e tale pressione, secondo il principio dichiarato, si trasmetterà lateralmente e le molecole all'intorno di quella porzione, non trovando verun ostacolo, verranno spinte all'infuori, e si spanderanno verso le pareti del recipiente. Al loro posto succederanno altre molecole superiori, le quali saranno alla loro volta spinte nello stesso modo, e così procederà sino a che la porzione siasi abbassata e disposta orizzontalmente in maniera di avere all'intorno un ostacolo allo spandimento. Lo stesso accadrà per altra porzione di liquido supposta culminante sugli altri punti della superficie; e l'equilibrio non potrà aver luogo se non alla condizione che le mo-

lecole libere non possano più scorrere al basso, vale a dire quando esse saranno tutte disposte in una superficie normale alla direzione della forza, in una superficie quindi orizzontale.

La seconda condizione non è meno necessaria della prima per l'equilibrio. Infatti, se ogni molecola fosse inegualmente premuta, essa dovrebbe muoversi per quel verso in cui la pressione è maggiore, per essere indipendente dalle altre; ma nel caso dell'equilibrio non vi ha movimento, bisogna dunque conchiudere che la pressione su ciascuna molecola ha luogo per ogni verso. Per far meglio comprendere questa condizione, imaginiamo il vaso ABCD (fig. 150) in cui si supponga essersi potuto disporre per un istante dell'acqua e del mercurio in modo che le superficie AF, DF dei due liquidi si trovassero sulla stessa orizzontale e che si congiungessero pel piano EF. In tal caso la prima condizione sarebbe adempiuta, non verificandosi però la seconda l'equilibrio non avrebbe luogo. Infatti consideriamo un punto qualunque *h*, ed è facile vedere che le pressioni laterali ed opposte in quel punto non riuscirebbero eguali, essendo maggiore quella del mercurio come più pesante, per cui le molecole di questo liquido cadrebbero al fondo del vaso mettendosi ivi orizzontalmente per adempiere così alla prima condizione d'equilibrio.

Queste condizioni d'equilibrio per una massa liquida valgono nel caso che fra le sue molecole non esista veruna forza di coesione, e che ciascuna di esse sia indipendente dalle vicine; il che suppone la perfetta fluidità del liquido. Ciò non si verifica principalmente nei liquidi viscosi (§. 500), nei quali la fluidità è imperfetta; talchè all'esatto adempimento di tali condizioni si assoggetteranno tanto più quei liquidi, che hanno meno coerenza nelle loro molecole, vale a dire quanto più si accosteranno alla perfetta fluidità, che qui si suppone.

505. Da queste condizioni emergono immediatamente alcune conseguenze: le vaste estensioni delle acque dei mari, per l'adempimento della prima condizione, devono prendere colle loro superficie la figura sferica; giacchè non vi ha altra superficie che sia perpendicolare a tutti i raggi rappresentanti le direzioni della gravità concorrenti al centro della terra. Per la stessa ragione la superficie d'un liquido, contenuto in un vaso, conserva il suo livello anche quando questo venga inclinato all'orizzonte.

Avviene talvolta che tale disposizione è disturbata da forze estranee alla gravità, ed agenti sulla massa liquida. In questo caso la superficie deve mettersi normale alla risultante delle forze, che sollecitano la massa medesima. È appunto per ciò che la superficie del-

l'acqua contenuta in un vaso, che si fa ruotare intorno al suo asse, cambia la sua forma piana e diventa concava per la forza centrifuga, che si genera nella rotazione (§. 367). Parimenti nella rotazione del nostro globo la forza centrifuga, combinata colla gravità, fa cambiare la superficie orizzontale delle acque dei mari (§. 378) e la obbliga a prendere una disposizione perpendicolare alla risultante di quelle due forze. Lo stesso avviene dei grandi monti, le cui attrazioni, essendo capaci di far deviare la direzione del filo a piombo (§. 121), fanno anche cambiare posizione alla superficie delle acque dei mari, che si trovano ai loro piedi; e così della luna che attrae le acque dei mari e le solleva cambiando la forma delle loro superficie. Si è veduto altresì come la capillarità faccia prendere ai liquidi una disposizione diversa pel loro equilibrio (§. 103 e seguenti).

Quando per qualche causa, come per l'urto del vento o di altro corpo, si disturba lo stato orizzontale della superficie del liquido, questo si agita, forma delle onde, e cessata la forza disturbatrice dell'equilibrio si mette colla superficie di nuovo orizzontale.

In cause delle due condizioni si ha che i liquidi di differente densità, quando non abbiano fra loro affinità, venendo mescolati si dispongono sempre in modo che il più pesante si porta al fondo del vaso e quello che lo è meno al disopra, prendendo ciascuno colla sua superficie la posizione orizzontale.

Si riscontra la conferma di questo principio nell'esperienza istituita col così detto *passavino*, che si compone di due vasi di vetro, l'uno inferiore e l'altro superiore riuniti mediante un piccolo tubo. Empiendo il vaso inferiore di vino e quello superiore d'acqua e levando diligentemente il tappo di sovero che chiudeva il tubo ed impediva la loro comunicazione, si vede l'acqua, come più pesante, scorrere lentamente attraverso il vino a prendere il luogo di questo. Affinchè l'esperienza meglio riesca si dà all'apparecchio la forma SV (fig. 150), dove i due vasi sono divisi da un diaframma, nel quale sono innestati due piccioli tubi *pq*, *mn*, l'uno discendente sino quasi al fondo del vaso V e l'altro *mn* innalzandosi nel vaso S. Nell'esperienza l'acqua, contenuta in S, discende pel tubo *pq*, mentre il vino ascende per l'altro *mn*.

Lo stesso si dimostra con un antico apparato esistente in alcuni gabinetti di fisica, chiamato *tubo dei quattro elementi*. Esso è formato d'un tubo di vetro ermeticamente chiuso alle sue estremità, in cui si contengono quattro liquidi, cioè *mercurio*, soluzione di *sal di tartaro* (sotto-carbonato di potassa), *alcoole* e *petrolio*. Il primo liquido,

come più denso, è al fondo del tubo, e gli altri vengono dopo successivamente in ragione delle loro densità. Capovolgendo il tubo i liquidi si rimescolano momentaneamente, ma ben presto si dispongono verso il fondo in ragione delle loro densità.

Questo ristabilimento dei liquidi secondo la loro densità succede alle volte con molta lentezza, per la ragione che, quantunque essi non abbiano abbastanza affinità per vincere l'inerzia delle loro molecole e mescolarsi, hanno però un certo grado d'adesione che è di ostacolo all'azione della gravità del più pesante per portarsi nel fondo del vaso ed espellere quello dotato di minor gravità specifica. Si riscontra il fenomeno sbattendo l'olio con l'acqua e versando il miscuglio in un vaso: le molecole dell'olio vengono a galla dell'acqua, mentre questa va con molta lentezza verso il fondo. Lo stesso succede della crema che si eleva alla superficie del latte, e del sangue lasciato in riposo per qualche tempo, il quale si separa in differenti strati secondo l'ordine delle loro densità.

506. I liquidi pel loro peso premono su se medesimi e sulle pareti dei vasi in cui si contengono, e coi principii esposti possiamo valutare queste pressioni in ogni caso. Primieramente diremo che chiamasi *colonnetta liquida* una porzione cilindrica o prismatica di un fluido contenuto in un vaso, la quale s'innalza verticalmente sino al livello del medesimo. Queste colonnette si possono imaginare le une vicine alle altre in una qualunque massa liquida, e la pressione d'ogni punto del fondo del vaso, su cui ciascuna riposa, riuscirà tanto più grande quanto maggiore sarà il peso della colonnetta liquida sovrincumbente, ed avrà per misura il peso medesimo. Giacchè possiamo imaginare riconsolidato tutto il liquido all'intorno di tale colonnetta, ed è chiaro che il peso di essa gravita sulla base cui è appoggiata, nella stessa maniera che vi graviterebbe un solido. Lo stesso si dica della pressione, che sopporta qualunque molecola liquida, essendo essa misurata egualmente dalla colonnetta sovrincumbente. Questa pressione poi, pel principio superiormente stabilito, si trasmette in ogni direzione (§. 503)

È chiaro inoltre che colla profondità si aumenta l'altezza della colonnetta e quindi si aumenterà del pari la pressione sulla molecola inferiore sottoposta. Questa verità si dimostra nelle scuole coll'esperienza, mediante l'*apparato per la pressione all'ingiù*. Esso consiste in un robusto vasetto di cristallo V, munito di un coperchio metallico *mn*, nel cui centro vi è assicurato un tubo di vetro T, che s'interna sin quasi a toccare il fondo del vasetto, dove si contiene del

mercurio sino ad una certa altezza *ab* (fig. 151). Il coperchio è traforato in maniera che, sommerso nell'acqua, di cui è pieno il recipiente AB, questo liquido entra per quei fori nel vasetto e preme sulla superficie *ab* del mercurio innalzandolo nel tubo. Si osserva che l'elevazione del mercurio nel tubo diventa tanto più grande quanto è maggiore la profondità, cui si porta il vasetto V, cioè quanto è maggiore l'altezza delle colonnette liquide sovrincumbenti alla superficie del mercurio. Il mercurio in tal modo sollevato si trova che è di peso eguale alla somma dei pesi delle colonnette liquide, in causa di cui s'innalza nel tubo.

La pressione dall'alto al basso si è detto che si trasmette per ogni verso e per conseguenza anche dal basso all'alto. Questa verità si dimostra sperimentalmente coll'*apparato per la pressione all'insù*. Esso consiste in un tubo di cristallo *abcd* di parete un poco grossa (fig. 152) e ben appianato all'orlo inferiore, in maniera che vi si possa adattare ad esatto combaciamento un disco *mn* egualmente piano. Questo disco otturatore è attaccato ad un filo *f*, il quale passa pel tubo in modo che per esso si può tenere aderente all'orlo e chiudere il tubo medesimo. Così chiuso, s'immerge verticalmente nell'acqua contenuta dentro il recipiente AB, ed allora l'otturatore sta aderente al tubo per la spinta all'insù del liquido, senza bisogno di tenerlo pel filo *f*. Questo sperimento prova la pressione dal basso all'alto, la quale si dimostra altresì essere eguale al peso della colonnetta liquida sovrincumbente. Il vaso cilindrico GD è attaccato a tre fili (fig. 153) che si riuniscono ad un piccolo gancio, per cui si appende al guscio della bilancia idrostatica (§. 502). Esso si empisce esattamente d'acqua, la quale unitamente al vaso si equilibra con pesi posti sull'altro guscio. Vi ha inoltre un cilindro *mn* d'ottone connesso ad un braccio orizzontale *ab* scorrevole lungo la verghetta cilindrica EF del piedestallo P. In tal modo il cilindro *mn* si può innalzare ed abbassare facendo scorrere il braccio *ab*, che si fissa all'altezza voluta colla vite di pressione V. Si porta il cilindro ad un'altezza tale che coll'estremità inferiore *n* si possa collocare sopra il vaso GD. In tale posizione si abbassa diligentemente il braccio *ab*, e s'introduce il cilindro *mn* nell'acqua sino a sommergersi interamente in essa. A misura che s'immerge il cilindro *mn*, l'acqua supera l'orlo del vaso GD ed esce da esso; sinchè nell'intera sommersione di *mn* è stato espulsa tant'acqua quanto è il volume del cilindro. In questa situazione si fa girare la vite per sostenere il braccio e fare che il cilindro non graviti sull'acqua del vaso. Asciugato

questo esternamente, si trova che l'equilibrio non è rotto e che l'acqua rimasta sta ancora in bilico cogli stessi pesi. Ciò prova che si esercita una pressione all'insù sul cilindro, il quale reagisce contro l'acqua con una forza eguale al peso della colonnetta liquida, che prima si trovava al suo posto. Dunque *la pressione dal basso all'alto eguaglia esattamente quella dall'alto al basso misurata dal peso della colonnetta liquida sovrincumbente.* L'apparato della fig. 154 serve nello stesso tempo a provare la pressione all'insù e la laterale. Esso consiste in un vaso di vetro AB chiuso esattamente da un coperchio assicurato al suo orlo. In altrettanti fori praticati nel coperchio sono innestati i tubi *ab*, *mn*, *pq*, e lateralmente in un foro apposito il tubo *d*. Il tubo centrale *ab* è aperto e termina in imbuto, gli altri sono chiusi da una chiavetta V. Si versa dal tubo *ab* dell'acqua nel vaso AB e si empisce interamente di questo liquido unitamente al tubo medesimo. Egli è chiaro che se vi ha una pressione laterale, questa si eserciterà anche sulla chiavetta del tubo *cd*; talchè girando questa chiavetta ed aprendo il foro l'acqua salirà nel tubo *cd*, come si verifica coll'esperienza. Lo stesso succede girando la chiavetta V dei tubi *mn*, *pq*. Dunque la pressione del liquido nell'interno del vaso AB si trasmette lateralmente e dal basso all'alto con una forza eguale alla colonnetta liquida del tubo *ab*, giacchè l'acqua negli altri tubi s'innalza allo stesso livello.

Importa assaissimo di ben precisare le verità che abbiamo qui dichiarate. Si abbia dunque uno strato orizzontale *pq* del liquido contenuto nel vaso AB (fig. 151); tutte le molecole componenti questo strato proveranno per ogni verso una pressione misurata dal peso della colonnetta sovrincumbente, che ha per l'altezza la distanza della molecola dal livello del liquido. La molecola *d*, per esempio, sopporterà una tale pressione al pari di tutte le altre molecole componenti lo strato orizzontale; senza di che non si verificherebbe la seconda condizione per l'equilibrio (§. 304).

307. Passiamo ora alla pressione dei liquidi sulle pareti dei vasi, dove si contengono, incominciando a determinare quella che essi producono sul fondo del medesimi. *La pressione, che sopporta il fondo orizzontale d'un qualunque vaso pieno di liquido, è eguale al peso del prisma dello stesso liquido avente per base il fondo medesimo, e per altezza quella del liquido.* Questa proposizione apparisce chiara se il vaso è cilindrico o prismatico, imperocchè la pressione sul fondo equivale alla somma dei pesi delle colonnette liquide, che gravitano su tutti i punti del medesimo. Le pareti laterali, essendo parallele a

quelle colonnette, non possono nè diminuire nè accrescere le pressioni sul fondo, il quale porta tutta la carica diretta delle colonnette, ossia tutto il peso del liquido contenuto nel vaso. Si prova però la proposizione generale coll'esperienza: il vaso cilindrico ABCD (fig. 155) ha assicurato all'estremità inferiore la viera MN intagliata internamente a vite, per cui si può esattamente congiungere colla corrispondente viera *mn* intagliata esternamente a vite ed unita al tubo H. Questo tubo è chiuso dallo stantuffo S, che serve di fondo al vaso ABCD ed è mobile entro il tubo medesimo. Lo stantuffo può essere tirato per mezzo d'un robusto cordoncino ST, che si attacca per l'estremità T al gancio del guscio della bilancia idrostatica. Si pongono sull'altro guscio i pesi sufficienti ad equilibrare lo stantuffo S, e la colonna d'acqua che si versa nel vaso ABCD. Detraendo da questi pesi quello dello stantuffo si ha la pressione, che il liquido esercita sul medesimo, la quale eguaglia il peso di tutta l'acqua contenuta nel vaso ABCD. Dopo aver notato i pesi necessarii all'equilibrio, si leva il vaso cilindrico ABCD, e si sostituisce il vaso ABCD, che si allarga superiormente (fig. 156) ed ha la stessa altezza *ab* del primo. Riempiuto egualmente d'acqua, si trova che per l'equilibrio si richiedono gli eguali pesi. Si fa lo stesso coll'altro vaso ABCD (fig. 157) della medesima altezza *ab* dei primi due, e si trovano pure gli eguali pesi. Dunque la pressione sul fondo dei vasi di qualsiasi forma è sempre misurata dal peso della colonna liquida, che ha per base il fondo medesimo e per altezza quella del liquido. La verità di tale proposizione, oltre essere provata dall'esperienza, si comprende eziandio dal semplice ragionamento. Infatti nel vaso ABCD (fig. 156), il liquido eccedente la colonna liquida, che misura la pressione sul fondo, è sostenuto dalle pareti laterali inclinate all'infuori, ciò che non succede nel vaso cilindrico (fig. 155). Nell'altro vaso ABCD (fig. 157) il liquido mancante è supplito dalla reazione dall'alto al basso delle pareti laterali inclinate all'indentro, come nell'esperimento altrove descritto (§. 506), cui si riferisce la fig. 153. D'altronde ogni strato orizzontale corrispondente alle molecole che si trovano sulla linea *ab* (fig. 156 e 157), devono avere l'egual pressione verticale (§. 506), mentre tutte le altre oblique al fondo si elidono fra loro e contro la reazione opposta dalle pareti laterali.

Da questi sperimenti si deduce che con un chilogrammo d'acqua si può esercitare sopra un piano orizzontale la pressione di 10, 100, 1000 e più chilogrammi, come pure quella di $^1/_{10}$, di $^1/_{100}$, di $^1/_{1000}$

e di una minor frazione di chilogrammo, secondo la forma delle pareti laterali. Questo principio d'equilibrio, per tale differenza di pressione prodotta dalla stessa quantità di liquido, è stato chiamato *paradosso idrostatico*. Giova l'osservare che le precedenti sperienze istituite nel modo descritto non riescono mai a rigore in causa dell'attrito e dell'adesione dello stantuffo alle pareti del cilindro; non potendosi d'altronde combinare la perfetta mobilità del medesimo con l'esatto suo combaciamento alle pareti per la tenuta dell'acqua. Vi ha un apparato moderno più proprio per dimostrare il principio del paradosso idrostatico, col quale si perviene a risultati più esatti e convincenti.

Il tubo, a cui si congiungono i vasi di diversa forma e d'egual diametro al fondo, è ripiegato a doppia squadra, ed ha quindi due rami (fig. 158), AB, CD, al primo dei quali AB si congiungano successivamente a vite i vasi di diversa forma, e il secondo CD si prolunga sino ad una certa altezza. L'acqua, che si versa nei vasi, riposa e fa equilibrio con una colonna di mercurio, la quale si eleva nel ramo CD del tubo ad una certa altezza, che si segna sul ramo medesimo. Si trova che qualunque sia il vaso, purchè l'acqua abbia l'eguale altezza, la colonna di mercurio che misura la pressione sulla superficie AB di questo liquido, che serve in ogni caso di fondo al vaso, conserva sempre la medesima elevazione. Per cui in ognuno dei vasi questa pressione riesce sempre eguale al peso della colonna liquida, che ha per base la superficie premuta, e per altezza la distanza dal livello. L'apparato è disposto in una cassetta col tubo munito d'una chiavetta, che si apre per lasciare uscire al termine d'ogni sperimento l'acqua dal vaso.

Chiamando dunque F la superficie del fondo del vaso, A l'altezza del liquido sul medesimo, e D la gravità specifica, si avrà per la pressione P=FAD; giacchè FA rappresenta il volume della colonna liquida, il cui peso si ottiene moltiplicando il volume stesso per la gravità specifica D (§. 127), riducendosi con ciò ad un volume d'acqua eguale in peso a quello della colonna liquida esprimente la pressione. Talchè se il prodotto FAD è in decimetri cubici, le unità che contiene esprimeranno altrettanti chilogrammi, essendo appunto un decimetro cubico o un litro d'acqua del peso d'un chilogrammo (§. 44).

508. La pressione, che sopporta ogni punto della parete laterale di un vaso pieno di liquido, riesce eguale al peso della colonnetta liquida sovrastante alla molecola di fluido corrispondente al punto medesimo, il quale peso trasmette la sua azione anche in direzione

normale alla parete (§. 506). I punti componenti la superficie della parete corrispondono a differenti profondità, e quindi le colonnette liquide, che misurano le pressioni rispettive di ognuno di essi, hanno differenti altezze. Per avere quindi la pressione totale sulla parete, bisognerà determinare la risultante d'un sistema di forze parallele, che riescono proporzionali colle profondità. Questa determinazione (§. 279) farà conoscere il punto corrispondente alla risultante medesima, il quale in questo caso chiamasi *centro di pressione*, e la sua distanza dal livello del liquido dà l'altezza della colonna liquida, che col suo peso preme sulla parete e che eguaglia la somma di tutte le colonnette elementari sovrastanti a ciascun punto. Si deduce quindi in generale che *la pressione esercitata sopra la parete laterale d'un vaso pieno di liquido è eguale al peso d'una colonna dello stesso liquido, che abbia per base la parete e per altezza la distanza del centro di pressione dal livello.*

Non bisogna confondere il centro di gravità col centro di pressione: il primo è il punto per dove passa la risultante d'un sistema di forze fra loro parallele ed eguali (§. 283), mentre il secondo è il punto della risultante d'un sistema di forze pure fra loro parallele, ma disuguali; e questo è sempre situato più al basso di quello. È per ciò che i metodi spiegati per determinare il centro di gravità, non valgono per trovare il centro di pressione, per cui si richieggono le dottrine del calcolo integrale. Con esso si dimostra che il centro di pressione d'una parete parallelogrammica, disposta verticalmente e con un lato a fior d'acqua, è situato ai $^2/_3$ della retta che unisce i punti di mezzo dei due lati orizzontali partendo dalla cima, e quindi la pressione su di essa è misurata dal peso del prisma liquido, che ha per base la superficie della parete, e per altezza la distanza del centro di pressione dal livello del liquido. In una parete triangolare la cui base è disposta orizzontalmente verso il fondo e il vertice a fior d'acqua, il centro di pressione è situato ai $^3/_4$ della retta condotta dal vertice alla metà della base, e quando la base coincide col livello, il centro di pressione si trova alla metà della linea medesima.

509. Con poca quantità di liquido si può dunque esercitare una grande pressione sulle pareti dello spazio, in cui porzione del medesimo è rinchiusa (§. 507). Si comprenderà quindi come, applicando esattamente al foro del cocchiume d'una botte un tubo di qualunque diametro della lunghezza di parecchi metri, si può esercitare tale pressione sulle doghe da romperne i cerchi e sfasciarla.

Supponiamo che la botte abbia la forma cilindrica e sia del diametro di metri 1 e della lunghezza di metri 2; e siavi inoltre applicato al foro del cocchiume un tubo di alcuni millimetri di diametro, ma dell'altezza di 10 metri. Essendo la botte piena di liquido, se ne versi nel tubo in quantità sufficiente per riempirlo pur esso, la superficie interna della botte risulta, nel nostro caso, di decimetri quadrati 628;32, e quindi sopporterà la pressione equivalente al peso di decimetri cubici 62832 d'acqua, o 62832 chilogrammi; mentre senza l'aggiunta del tubo la pressione riesce molto minore.

Nelle scuole si suole mostrare la potenza della pressione dell'acqua in ragione della superficie e dell'altezza, con un apparato detto, dalla foggia con cui è costrutto, *mantice idrostatico*. Esso si compone di due dischi circolari di metallo o di legno, riuniti pel loro orlo con una robusta pelle a guisa del mantice. Nel centro del disco inferiore assicurato un lungo tubo di vetro, che, ripiegandosi a doppia squadra, s'innalza verticalmente e termina in imbuto. Essendo il mantice pieno d'acqua, se ne versa anche nel tubo, e questo liquido eserciterà sui due dischi la pressione equivalente al peso d'un cilindro d'acqua, che abbia per base il disco stesso e per altezza quella del liquido nel tubo. Questa pressione tende ad innalzare il disco superiore mobile ed a gonfiare il mantice, per cui il disco stesso esercita una forza capace di equilibrare una grande resistenza. Se poi si applica superiormente al tubo uno stantuffo, che si comprime col mezzo di una leva di secondo genere, allora alla pressione prodotta dalla gravità del liquido, bisogna aggiungervi quella della leva, e si ha così una pressione molto più poderosa. Questa combinazione del mantice idrostatico col vette di secondo genere dà l'idea della *leva ad acqua*, o della *leva idrostatica*.

310. Si scorge dunque che la pressione di 100, 200, 300 e più chilogrammi, esercitata con una leva, con un grave o col peso di nuova acqua allungando il tubo, si trasmette sul fondo e sul coperchio e per ogni verso. Ora se la sezione del tubo sia di 1 centimetro quadrato, mentre quella del fondo o del coperchio è 1000, 2000, 3000 e più centimetri quadrati, esso proverà una pressione eguale a 1000, 2000, 3000 e più volte quella esercitata sul livello del liquido nel tubo. Dando alla sezione del tubo una più piccola dimensione, per esempio di $^1/_4$ di centimetro quadrato, colla stessa pressione sul livello del liquido nel tubo si eserciterà sul fondo o sul coperchio del recipiente uno sforzo quadruplo del primo; e così sempre più grande con impicciolire la sezione del tubo, senza accrescere la pressione

sul liquido in esso contenuto. Su questo medesimo principio è fondata la costruzione del *torchio* o *strettoio idraulico*, o per meglio dire dello *strettoio idrostatico*.

In un recipiente cilindrico *abcd* (fig. 159), formato di robuste pareti di ferro, entra un cilindro massiccio R, che ne occupa quasi interamente la capacità. Quest'ultimo è rivestito, verso la parte superiore, di cuoio e può scorrere ad esatto combaciamento entro l'apertura del recipiente *abcd*. Il cilindro massiccio porta un robusto piano PQ, il quale, nell'esser elevato, conserva la posizione orizzontale in virtù dei due piedritti verticali, che gli servono di guide. Un tubo *ef* pesca inferiormente nell'acqua contenuta in una vasca V, ed in esso si può far ascendere ed abbassare uno stantuffo S mediante la leva di secondo genere MN. Verso la parte inferiore del tubo avvi una valvola, che si apre all'insù; talchè, innalzando lo stantuffo, l'acqua sale nel tubo, apre la valvola e si dispone superiormente ad essa. Nell'abbassamento l'acqua è premuta ed obbligata ad entrare per un piccolo cannello laterale *mn*, dove apre il foro chiuso da altra valvola ed entra nel recipiente *abcd*, esercitando la sua pressione sul cilindro massiccio R, che circonda per ogni sua parte, e tende quindi a sollevarlo ed a farlo scorrere nell'apertura del recipiente medesimo. L'acqua, una volta che sia passata nel recipiente, non può più retrocedere chiudendosi la valvola. Innalzando colla leva MN di nuovo lo stantuffo, s'introduce altr'acqua nel tubo, che coll'abbassamento si obbliga a transitare pel cannello, aprire l'altra valvola e ad entrare nel recipiente cilindrico. Ripetendo questo movimento della leva, s'introduce sempre nuov'acqua nel recipiente e la si obbliga a premere il cilindro R tendendo a sollevarlo. Fra il piano superiore PQ del cilindro ed una robusta traversa TT assicurata ai due piedritti, si mette il corpo, che deve essere compresso, sul quale, pei principii esposti, si esercita una grande pressione mediante la leva MN e la piccola colonnetta liquida del cannello. Se la base dello stantuffo sia di $^1/_4$ di centimetro quadrato e la sezione del cilindro massiccio R abbia la grandezza di 100 centimetri quadrati; uno sforzo d'un solo chilogrammo farà provare al cilindro massiccio la pressione di 100 chilogrammi. Ma quello sforzo si rende maggiore col mezzo della leva MN; talchè un uomo può con essa rendere decupla la sua potenza, che supposta di 50 chilogrammi, diventerebbe per questa di 500 chilogrammi, e per mezzo del liquido ascenderebbe essa a 200000 chilogrammi, che esprimerebbero lo sforzo con cui il piano

PQ del cilindro massiccio andrebbe a comprimere il corpo contro la traversa TT. Dei pezzi di legno sono in tal maniera schiacciati con una piccola forza esercitata sull'estremità della leva MN, e grosse verghe di ferro sono piegate e rotte dalla medesima, e ciò con un apparato di sì piccole dimensioni. Lo strettoio idrostatico presenta dei grandi vantaggi nell'industria manifatturiera ed agricola, per le enormi pressioni, che con esso si possono esercitare su diverse materie.

In generale, chiamando P la forza esercitata sulla leva, m, n i bracci di questa, p il peso della colonnetta liquida nel tubo, S la superficie premuta ed s la sezione del tubo medesimo; si avrà per la pressione, agente contro la resistenza R, l'equazione d'equilibrio $R = \frac{m}{n} . \frac{S}{s} . P + \frac{S}{s} p$. Ma se dall'equilibrio si passa al moto si deducono le conseguenze che si sono altrove esposte (478); vale a dire che s'impiega nell'azione della potenza tanto maggior tempo quanto essa è più piccola per vincere la resistenza, e le due forze riescono ancora in ragion inversa degli spazi percorsi.

511. In parecchi recipienti, fra loro in comunicazione, di qualunque forma essi siano, un liquido si mette allo stesso livello. Imperciocchè per l'equilibrio si debbono verificare le due condizioni dichiarate (504), le quali non si riscontrerebbero se il livello fosse differente in ciascun caso, perchè uno strato liquido non sarebbe egualmente premuto per ogni verso, e quindi non potrebbe conservarsi in equilibrio.

Questa verità si dimostra coll'esperienza. Si abbia un canale AB chiuso per ogni parte (fig. 160), nel quale mettono capo parecchi recipienti di diversa forma e capacità: versando in uno di essi un liquido, se ne riempirà il canale AB e i diversi recipienti, mettendosi in tutti i medesimi allo stesso livello o sulla stessa linea orizzontale *ab*.

512. Ponendo in recipienti, fra loro comunicanti, dei liquidi eterogenei e di diverso peso specifico, le superficie dei liquidi si mettono nei medesimi a livelli differenti, *i quali hanno le altezze in ragion reciproca della densità dei liquidi*. Infatti, per l'equilibrio dello strato inferiore di congiunzione dei liquidi, deve ciascuna molecola essere premuta egualmente nei due versi opposti, e perciò ogni colonnetta liquida da una parte bisogna che abbia l'egual peso dell'altra contraria. Talchè, chiamando con s la superficie di congiunzione dei due liquidi, con a, a' le altezze che prendono nei re-

cipienti, e con g, g' le loro gravità specifiche; si avrà asg pel peso della prima, ed $a'sg'$ per quello della seconda: per l'equilibrio $asg=a'sg'$, da cui si deduce $a : a' :: g' : g$.

La legge dell'equilibrio dei fluidi eterogenei, contenuti in vasi comunicanti, si dimostra pure coll'esperienza, mediante un apposito apparato. Un tubo ACB ripiegato parallelamente a se stesso (fig. 161) è disposto sulla tavoletta TT; in uno dei rami AC si versa del mercurio, che si mette allo stesso livello nell'altro ramo BC. S'introduce poscia in BC acqua bastante per obbligare col suo peso il mercurio ad abbassarsi nel ramo BC in modo da trovarsi colla sua superficie sull'orizzontale mn condotta pel punto, dove incomincia la scala in centimetri e millimetri applicata sul mezzo della tavoletta. Si osserva in tale stato l'altezza b, cui si giunge l'acqua e quella a, cui si dispone il mercurio; e si trova che esse corrispondono sulla tavoletta ai numeri 14 ed 1, che esprimono appunto il rapporto inverso di quello dei pesi specifici dei due liquidi.

Affinchè si verifichi questa come l'altra legge esposta nel precedente paragrafo, s'intende che agisca sui liquidi la sola gravità senza veruna forza estranea, e per conseguenza i tubi ed i recipienti debbono essere di tale diametro da non far nascere l'influenza della capillarità (§. 103).

513. Da quanto abbiamo detto sull'equilibrio dei liquidi nei recipienti comunicanti, si comprende come due laghi, situati sopra due colline ben anche distanti l'una dall'altra, si troveranno colle loro acque al medesimo livello, se queste comunicano fra loro in qualsiasi maniera per canali e condotti sotterranei; lo stesso è dei mari, che comunicano fra loro per canali e per *stretti*. Dagli stessi principii dipende l'elevarsi delle acque in getti più o meno alti nei *pozzi trivellati*, detti altrimenti *pozzi modenesi* od *artesiani*. Parimenti nelle *botti a salto di gatto* l'acqua, proveniente da un canale, passa al disotto d'una strada o di qualunque altro ostacolo al suo corso sullo stesso piano, e sale dall'altra parte al livello di prima. È appunto all'appoggio di tale proprietà che nelle arti e nell'industria si adatta verso il fondo dei vasi un tubo di vetro, che si innalza verticalmente e fa conoscere il livello, cui si trova il liquido nei medesimi, mettendosi nel tubo all'egual altezza.

L'arte di distribuire le acque nelle grandi città per mezzo di un sistema di tubi e condotti sotterranei, che si ramificano per ogni parte, è fondata egualmente sulle leggi esposte. Si conduce l'acqua in un serbatoio che, per la sua altezza, domina tutti i luoghi, dove

deve essere distribuita. Questi serbatoi sono d'ordinario collocati fuori della città. Disposti i tubi e i condotti in comunicazione col serbatoio, l'acqua va a riempiere tutte le capacità, tutti i recipienti situati al disotto di esso, e nel suo cammino discende talvolta a diverse profondità per risalire e giungere in fine al luogo destinato. Il modo di distribuzione delle acque adottato dagli antichi, e le ruine dei loro acquedotti, avevano fatto credere ch'essi ignorassero la proprietà dei liquidi di mettersi a livello nei tubi comunicanti. Si è poscia riconosciuto che non era l'ignoranza di questo principio, ma la mancanza di materiali convenienti per la costruzione dei condotti sotterranei, per cui furono costretti ad intraprendere degli immensi lavori, di cui oggidì si vedono gli avanzi nei contorni di Roma e di altre città.

314. La proprietà che hanno i liquidi di mettersi a livello, ha dato nascimento all'*arte di livellare* i terreni e il suolo. Due punti posti sulla medesima linea orizzontale, od egualmente distanti dal centro della terra, diconsi a livello; e *livellare* significa determinare la differenza delle distanze, cui si trovano i punti dal centro terrestre.

Le acque stagnanti, mettendosi a livello, formano colla loro superficie un inviluppo sferico concentrico col globo terracqueo. Tuttavolta le dimensioni del globo sono talmente grandi, che negli usi ordinarii e nella pratica di alcune arti si considera come piana la superficie di livello, la quale è perpendicolare al filo a piombo (§. 122). Un calcolo molto semplice dimostra che, tagliando con un piano una calotta la cui base avesse il diametro di 50 metri, il punto più elevato della medesima al disopra della sua base avrebbe la grossezza minore d'un capello. Se il diametro della calotta fosse di 100 metri, la sua altezza non sarebbe che un quinto di millimetro; e per ducento metri di diametro si avrebbe meno ancora d'un millimetro d'altezza; in fine per due mila metri di diametro l'altezza della calotta sarebbe di circa otto centimetri. Siccome i liquidi stagnanti si mettono con ogni punto della loro superficie a livello; così si comprenderà la pratica, usata in alcune circostanze, di livellare i campi allagandone la superficie, dalla cui altezza, rispettivamente a quella dell'acqua tranquilla che vi sta sopra, si prende norma dei punti che devono essere livellati, ossia abbassati o rialzati. Non sempre però si può far uso di questo metodo di livellazione, e si è quindi inventato uno strumento detto *livello*, col quale si ha facilmente la differenza d'altezza di differenti punti.

L'istrumento di questa specie il più semplice e il più usitato nelle

Digitized by Google

ordinarie operazioni, è il *livello a tubi comunicanti*, o *livello ad acqua*. Esso è formato d'un tubo d'ottone o di latta AB (fig. 162) della lunghezza di quasi un metro e piegato ad angolo retto verso le estremità, alle quali vi sono connesse due boccette cilindriche C, D. Il tubo AB è ben assicurato sopra una verga di metallo, la quale è sostenuta da un trepiede *ef*. Si dispone il tubo nella direzione prossimamente orizzontale in modo che le due boccette C, D siano verticali; si prende dell'acqua colorita, affine di poterne ben distinguere la superficie a traverso il vetro, e si versa in una delle boccette. Per la libera comunicazione il liquido si mette nelle boccette allo stesso livello, cioè alla stessa altezza. Ora, se si conduce coll'occhio la visuale EF tangente alla superficie dell'acqua nelle due boccette, sarà essa una linea orizzontale.

Si trova con questo strumento la differenza di livello di due punti x, y traguardando con l'occhio, da una parte l'asticella verticale o *biffa* xz, e dall'altra la biffa yu, le quali portano un'assicella quadrangolare EF, che chiamasi *scopo* o *mira*, su cui è segnata una linea nera orizzontale. Lo scopo è scorrevole sulle aste, e rimane per isfregamento all'altezza, cui è posto. Facendo innalzare od abbassare da ciascuna parte lo scopo, sinchè ambidue corrispondono colla linea nera alla visuale, si hanno le altezze Ex, Fy dalla cui differenza si avrà la differenza d'elevazione dei due punti x, y.

515. Per condurre delle visuali molto lunghe, Castelli ha imaginato di servirsi di due corpi cavi galleggianti sull'acqua contenuta nelle due capacità cilindriche. Egli ha applicato sui medesimi un cannocchiale, formando così il *livello a galleggianti*. In questo strumento importa che l'asse del cannocchiale, disposto sui due galleggianti, sia orizzontale o parallelo alla superficie dell'acqua contenuta nelle due capacità cilindriche.

Per rendere orizzontale l'asse del cannocchiale serve meglio il *livello a bolla d'aria*, il quale consiste in un piccolo tubo di vetro AB (fig. 163), chiuso alle due estremità e riempiuto di alcoole colorato in maniera però da lasciare nel suo interno una piccola bolla d'aria C. Quando il tubo è orizzontale, la bolla C non ha veruna tendenza a moversi dall'una o dall'altra parte; ma per poco che esso sia inclinato, la bolla sale immediatamente verso l'estremità più elevata, o per meglio dire il fluido più denso cade nella parte inferiore e ne rimove la bolla, che è dotata di minor densità. Il tubo si connette con quello del cannocchiale in modo che i loro assi

Digitized by Google

riescono esattamente paralleli, e quando il primo è orizzontale, riesce pure orizzontale l'asse del cannocchiale, e quindi la linea visuale, che fa conoscere la differenza di livello dei due punti.

516. Quantunque i liquidi siano difficilmente compressibili sotto l'azione delle forze ordinarie; tuttavolta si è detto ch'essi sono dotati di qualche minimo grado di compressibilità, che si misura con alcuni apparati ingegnosi inventati a tale scopo (§. 161). Ora i grandi ammassi liquidi, in equilibrio nei profondi bacini della natura e nei grandiosi recipienti dell'arte, provano nei loro strati inferiori la pressione delle colonne dello stesso liquido che loro sono sovrincumbenti, e queste colonne in alcuni casi riescono abbastanza pesanti per far subire ai medesimi qualche compressione. Per questo riavvicinamento di parti, cambia la gravità specifica del liquido, e quindi il peso delle colonne, che producono la pressione tanto sui loro strati quanto sulle pareti dei recipienti. Importa dunque di far conoscere qualcheduna delle machine per valutare la compressibilità dei liquidi, onde in ogni caso poter far entrare la densità nella stima delle pressioni esercitate dai medesimi per la loro gravità. Perkins, Oersted, Crivelli, Colladon e Sturm ed altri fisici si sono occupati della compressibilità dei liquidi; noi faremo conoscere l'apparato di Oersted, il più comune nelle scuole per mostrare come si valuta la compressibilità di questi corpi.

L'*apparecchio di compressione pei liquidi* è rappresentato nella fig. 164, e si compone essenzialmente d'un vaso a compressione AB fatto di vetro a grosse pareti e d'un serbatoio CD a tubo capillare chiamato *piezometro*. Il piezometro ha la forma e le dimensioni del bulbo cilindrico d'un gran termometro; il tubo soltanto è aperto e termina in un piccolo imbuto o rigonfiamento. L'esattezza di questo strumento dipende dalla graduazione del tubo capillare in parti eguali, ciascuna delle quali sia una frazione conosciuta della capacità del serbatoio cilindrico del piezometro. A tale scopo si pesa con precisione la quantità di mercurio che può capire nel cilindro, e quella che si contiene in una data lunghezza del tubo capillare: e sia la prima di 1000 grammi e la seconda di 1 decigrammo per la lunghezza di 100 millimetri, è chiaro che la capacità del tubo ben calibro corrispondente ad un millimetro sarà di 0,000001 della capacità del cilindro. Ora si noti che si può leggere facilmente il mezzo millimetro sulle divisioni scolpite tanto sul tubo medesimo quanto sopra una scala ad esso annessa; perciò si potrà osservare il mezzo millionesimo del volume primitivo.

Digitized by Google

Si debba valutare coll'istrumento, per esempio, la compressibilità dell'acqua. A tal fine si riempie di questo liquido il vaso AB e si introduce nel tubo capillare una piccolissima colonnetta di mercurio, che separa dalla rimanente massa il volume d'acqua da essere cimentata e che serve d'indice. Disposto in tal maniera il piezometro, si adatta alla sua scala un piccolo tubo cilindrico *mm* del diametro di 10 in 12 millim. e della lunghezza di 14 in 18 centim. chiuso all'estremità superiore ed aperto in quella inferiore; il qual tubo si chiama *manometro*. Il piezometro col manometro si sommergono nell'acqua contenuta nel vaso a compressione, come rappresenta la figura, usando ogni cautela per non produrre verun cambiamento di temperatura. Il vaso a compressione AB è munito superiormente di una viera VV di metallo ben assicurata al suo orlo superiore, alla quale è applicata una vite di pressione P, che può spingere uno stantuffo S. Lateralmente al vaso di compressione avvi un tubo TT, pel quale si versa dell'acqua sino al contatto dello stantuffo S, ed escludere così qualunque bolla d'aria, che potesse rimanere nel vaso AB, e che sfugge per l'apertura laterale O. Facendo girare la vite P, si spinge lo stantuffo, che si abbassa nello spazio cilindrico della viera VV, e chiude le due aperture laterali O e T. Continuando a spingere lo stantuffo si comprime l'acqua contenuta nel vaso AB, la quale trasmette la pressione anche all'acqua del piezometro ed all'aria del manometro. I due fluidi in tal modo si condensano per tale compressione: il condensamento dell'acqua del piezometro si riconosce dall'indice di mercurio, che si abbassa nel tubo capillare, e quello dell'aria nel manometro dalla scala annessa, che nota in atmosfere la pressione esercitata dallo stantuffo sull'acqua. Operando in tal maniera si sono ottenuti i risultati seguenti:

I. L'acqua privata d'aria è più compressibile di quella in cui si contiene di questo fluido; II. Sotto la pressione d'un'atmosfera l'acqua si comprime di 0,000045, vale a dire di 45 milionesimi del suo volume primitivo; III. Sino a 70 atmosfere la compressibilità risulta proporzionale alla forza comprimente; IV. La compressibilità del mercurio è per ogni atmosfera di circa un milionesimo del suo volume primitivo; V. Quella dell'alcoole di 20 milionesimi; VI. Del solfuro di carbonio di 30 milionesimi; VII. Dell'etere solforico di 60 milionesimi; VIII. Dell'acqua contenente in soluzione dei sali, degli alcali o degli acidi si riscontra un poco minore di quella dell'acqua pura.

Questi risultati sono forniti direttamente dall'esperienza. Ma si è

osservato che il piezometro ha le pareti compresse per ogni verso dal liquido esterno ed interno, e deve quindi provare un cambiamento di capacità, per cui è necessaria una correzione ai risultati ottenuti dalle osservazioni dirette. Il piezometro, essendo un corpo solido, diminuisce di volume per la compressione esercitata su di esso per ogni parte, e il suo inviluppo deve diminuire proporzionalmente della medesima quantità, per cui ne risulta una *diminuzione di capacità*, la quale, chiamando c quella primitiva, si è trovato che diventa $c\left(1-\frac{3d}{2}\right)$ sotto la pressione P; dove d è la contrazione della lunghezza d'una verga cilindrica fatta della medesima materia del piezometro, aggravata alle sue due estremità della stessa pressione P riferita alla stessa unità di superficie. Stirando la verghetta invece di comprimerla, si ammette per principio ch'essa subisce un allungamento eguale alla contrazione d. Secondo le sperienze di Colladon e Sturm, una bacchetta di vetro si allunga di 11 diecimilionesimi stirata da una forza eguale ad un'atmosfera, vale a dire da un peso eguale a quello d'una colonna di mercurio, che ha per altezza 760 millimetri e per base la sezione della bacchetta. Da ciò si deduce che la capacità del piezometro, detta c alla pressione ordinaria, diverrebbe $c(1-0,00000165)$ sotto un'atmosfera di più, e $c(1-0,00000165n)$ sotto il numero di n d'atmosfere. Bisogna quindi correggere i risultati su riferiti che ottenne Oersted direttamente dall'osservazione, i quali si vedono nel quadro, dove si sono aggiunti quelli avuti da Colladon e Sturm, diminuiti nei numeri corretti, perchè essi avevano supposto che la capacità aumentasse di $3d$ invece di diminuire di $\frac{3d}{2}$.

COMPRESSIBILITA' DEI LIQUIDI.

Compressibilità per un'atmosfera, valutata in milionesimi del primitivo volume — Secondo

Designazione delle materie.	Oersted Diretta	Oersted Corretta	Colladon e Sturm Diretta	Colladon e Sturm Corretta
Mercurio.	1	2,65	5,03	3,38
Alcoole	20	21,65	96,50	94,95
Solfuro di carbonio . .	30	31,65	»	»
Acqua	45	46,65	51,30	49,65
Etere solforico.	60	61,65	133,00	131,35
Acido solforico. . . .	»	»	32,00	30,35
Acqua non privata d'aria	»	»	49,50	47,85

La differenza, che vi ha fra i risultati di Oersted e quelli di Colladon e Sturm per la compressibilità dell'etere solforico, dipende probabilmente dalla temperatura, cui è stato preso questo liquido. Quello sottoposto al cimento da Colladon e Sturm segnava zero gradi del termometro. Lo stesso si dica dell'alcoole, la cui minore o maggiore compressibilità però potrebbe anche dipendere dal contenere esso più o meno acqua.

517. Nei mari l'acqua deve sopportare una pressione tanto più grande quanto più è grande la profondità, e quindi deve essere condensata in ragione delle colonne liquide sovrincumbenti. Ora il peso d'una colonna d'acqua, dell'altezza di circa 10 metri, equivale alla pressione d'un'atmosfera; per cui alla profondità di 100 metri si avrà già la forza premente sugli strati del liquido di circa 10 atmosfere, e il volume dell'acqua diminuirà in proporzione secondo i dati stabiliti per un'atmosfera. Si comprende quindi da ciò il fenomeno osservato col calare alla profondità di 60 in 70 metri nell'acqua del mare una boccia di vetro piena d'acqua dolce e chiusa da un tappo di sovero; essendosi trovato, dopo aver ritirato la boccia, che l'acqua dolce era mescolata con quella salata di mare, quantunque il tappo non sembrasse essere stato rimosso dalla sua posizione e chiudesse ancora come prima la boccia. Sotto quella pressione di 6 in 7 atmosfere, l'acqua e più il sovero sono compressi e diminuiscono di volume. La diminuzione di volume del tappo lascia adito al rimescolamento dei due liquidi, e la sua densità si aumenta in modo da diventare specificamente più pesante dell'acqua stessa e cadere al fondo del recipiente. A misura che si solleva la boccia, il tappo ritorna unitamente all'acqua a riprendere il primitivo volume, e viene a turare per di dentro il foro del collo della boccia. Continuando a sollevare la boccia per estrarla dalle acque del mare, il liquido contenuto in essa seguita a dilatarsi e spinge con queste dilatazioni il tappo nel collo, sinchè, al momento che si estrae dal mare, si trova nella posizione primitiva.

518. I liquidi pel loro peso, non solo premono su se medesimi e sulle pareti dei recipienti dove si contengono, ma ben anche sui corpi in essi sommersi. Un corpo immerso in un liquido sopporterà una pressione tanto più grande quanto è maggiore la profondità, cui si fa discendere. Questa pressione, secondo il principio dichiarato (§. 503), si trasmette per ogni verso, ed importa di esaminare quale sia la risultante delle diverse pressioni in tal modo dirette nel liquido ed agenti sul corpo che si trova. A tal fine imaginiamo

il cubo AB sommerso in un liquido (fig. 165): col principio della composizione delle forze, tutte le pressioni che si esercitano su di esso si possono ridurre a due ordini per rispetto alla loro direzione; l'uno che comprende le forze orizzontali e l'altro le forze verticali. Le forze orizzontali su ciascun punto del solido sono in egual numero da una parte e dall'altra, agiscono in direzione opposta e riescono eguali due a due, perchè misurate da una colonnetta liquida della medesima altezza (§. 306). E la risultante *m* da un lato, come eguale ed opposta, eliderà la risultante *n* dall'altro lato. Non succede egualmente dalle forze verticali che premono il corpo superiormente ed inferiormente. La risultante *q*, che tende a spingere al basso il corpo, è misurata dal peso della colonna liquida, che ha per altezza la distanza della superficie superiore del corpo dal livello del liquido e per base la somma dei punti della superficie premuta; e quella *p*, che tende a spingerlo in alto, ha per misura il peso della colonna liquida, che ha la stessa base della prima e per altezza la distanza della superficie inferiore del solido dal livello stesso. Per cui quest'ultima pressione supera la prima di tutto il peso della colonna liquida rimossa dal cubo, e questo è spinto in alto con un tal eccesso di pressione, e perde quindi tanto di peso quanto è quello della massa liquida che rimuove. Per facilitare il ragionamento, abbiamo supposto che il solido sommerso nel liquido sia un cubo; ma, con alcune considerazioni meccaniche, si può generalizzare la proposizione ed estenderla ai corpi di qualunque siasi forma. Appunto in ciò consiste *il principio d'Archimede* altrove dimostrato anche con l'esperienza (§. 425).

Da questo principio si ha il metodo per avere il peso esatto d'un dato volume di liquido, come per esempio d'un decimetro cubico d'acqua distillata, che costituisce il chilogrammo (§. 44). A tal fine si forma un cubo d'ottone, che abbia un decimetro di lato, e si osserva quanto peso perde in quell'acqua: è chiaro che la perdita di peso esprime il peso del volume proposto d'acqua. Nello stesso modo si opererà per qualunque altro volume, per rinvenire cioè il peso di un'oncia cubica, d'un pollice cubico, ecc. d'acqua.

519. La pressione dal basso all'alto si chiama nell'idrostatica *spinta verticale*. Per tal modo un corpo sommerso in un liquido è sottoposto a due forze contrarie: al suo peso, che tende a farlo cadere al fondo del vaso; ed alla spinta verticale diretta a farlo salire verso la superficie del liquido. In una massa liquida in quiete imaginiamone una porzione, che si congeli senza cambiare la densità;

essa rimarrà in equilibrio in mezzo alla massa rimasta liquida, essendo il suo peso contrariato dalla spinta verticale. Qualunque altro solido posto nel luogo della porzione di liquido congelato, è chiaro che proverà la stessa spinta verticale, e per essere equilibrato dovrà la direzione della spinta passare pel suo centro di gravità (§. 320). Questo punto, per rispetto ai corpi sommersi nei fluidi e per cui è diretta la spinta verticale, appellasi *centro d'azione della spinta verticale*.

Da quanto si è detto conseguita che: I° *La spinta verticale contro un corpo immerso in un liquido è eguale al peso del fluido rimosso;* II° *La direzione di questa forza passa pel centro di gravità della massa liquida rimossa, e può considerarsi come applicata a questo punto.* Chiamando quindi p la spinta verticale, v il volume del corpo e d la gravità specifica del liquido si avrà sempre $p=dv$. I grandi vascelli della marina mercantile e militare provano, per la spinta verticale, un enorme pressione sul loro fondo, essendo alcuni di essi carichi di 100 e più cannoni e di 500 e più uomini d'equipaggio. La chiglia di queste navi deve essere costrutta di materiali ben robusti per resistere alla forza della spinta verticale, da cui sono sostenute.

Una qualunque porzione di un liquido in quiete perde dunque l'intero suo peso, in virtù della spinta verticale della massa circostante. Un tal peso però deve manifestarsi di nuovo, quando la spinta stessa sia in qualunque altro modo equilibrata; il che nelle scuole si suole sottoporre all'esperienza mediante l'*apparato con cui si dimostra che i liquidi pesano nel proprio elemento*. Si compone d'un recipiente cilindrico di vetro a grosse pareti, col fondo formato d'un robusto disco di piombo e con coperchio d'ottone ben resistente e munito al suo centro d'un tubo con chiavetta (*robinetto*) pneumatica. Applicando il tubo al cannello della machina pneumatica, si leva l'aria dal recipiente, si chiude e il si attacca con un cordoncino al guscio della bilancia idrostatica (§. 302). Immerso poscia nell'acqua contenuta in un vaso, si mette in equilibrio con pesi posti sull'altro guscio, indi si empisce dello stesso liquido. Pesandolo di nuovo si trova che il suo peso è accresciuto di tanto quanto è quello del liquido introdotto; per cui il liquido stesso, equilibrata la spinta verticale, non lascia d'essere pesante in mezzo alla sua massa.

320. Sarà facile ora comprendere che, per l'equilibrio d'un corpo sommerso in un liquido, debbono essere adempiute le due condizioni seguenti: I° *Il peso del corpo bisogna che sia eguale a quello*

del fluido rimosso, ossia $p=du$; II. *Il centro di gravità del corpo e quello della massa fluida rimossa è mestieri che si trovino sulla stessa verticale.* Quantunque queste condizioni emergano chiaramente dalle dottrine precedentemente spiegate e dai principii dell'equilibrio delle forze dichiarati nella prima parte; tuttavolta diluciditamole con un esempio. Siano tre sfere A, B, C (fig. 166) composte di materie eterogenee in maniera che, essendo in c il loro centro di figura, quello di gravità sia in g (§. 301), e che il loro peso sia precisamente eguale alla spinta verticale del liquido, dove si trovano immerse. Esaminiamo la posizione d'equilibrio di questo solido sommerso nel fluido: se la sfera ha la posizione A, in cui il suo centro di gravità g e il centro d'azione c della spinta verticale si trovano sulla stessa verticale cd, è chiaro che questa forza, essendo eguale e direttamente opposta al peso del corpo riunito in g, impedirà l'azione della gravità e si avrà l'equilibrio. Nella posizione B si verificano le stesse condizioni: ma il centro di gravità g è situato superiormente al centro d'azione c della spinta verticale; per cui si avrà un equilibrio instabile e difficile ad ottenersi (§. 304). La posizione C poi è assolutamente impossibile per l'equilibrio; giacchè la gravità agisce secondo la verticale ab dall'alto al basso e la spinta verticale secondo la cd dal basso all'alto, e tendono ambidue a rimuovere il corpo da quella posizione; essendo necessario per impedire ogni moto di rotazione, che le due forze opposte ed eguali agiscano secondo la medesima retta (§. 320). Allorquando il corpo è omogeneo in tutta la sua massa, il suo centro di gravità coincide col centro della spinta verticale, e basta la sola prima condizione per l'equilibrio, perchè la seconda ne è una conseguenza.

521. Quando il corpo è più denso del liquido dove è sommerso, allora prevale la gravità sulla spinta verticale e non vi potrà essere equilibrio se non quando il corpo medesimo sia caduto a riposare sul fondo del recipiente. Essendo v il volume del solido sommerso e quindi quello della massa liquida rimossa; g, d le gravità specifiche del solido e del liquido, e in fine p il peso assoluto del primo corpo e q quello della massa fluida rimossa, si avrà $p=gv$, $q=dv$. Se $g>d$, sarà anche $gv>dv$, ossia $p>q$; cioè quando la materia del solido è più densa del liquido, il primo corpo si affonderà nel secondo. Se è $g=d$, ossia $p=q$, allora il solido si equilibrerà nel liquido. Infine essendo $g<d$, sarà del pari $p<q$, ed il solido verrà a galla.

522. Due solidi A, B di diversa densità, per esempio una sfera di ottone ed un'altra di zinco, appesi, l'uno per parte, con crini ai

gusci della bilancia idrostatica, sono in equilibrio; ma venendo immersi nello stesso liquido, come nell'acqua, l'equilibrio si rompe e la bilancia trabocca dalla parte del corpo di maggior densità. Infatti sia g, v il peso specifico e il volume di A, e g', v' quelli di B: i loro pesi assoluti risulteranno gv, $g'v'$, dai quali, per essere eguali, si avrà $gv=g'v'$. Ora se, nell'immersione dei due corpi nel liquido di gravità specifica d, si conservasse ancora l'equilibrio, dovrebbe la perdita di peso dv fatta da A essere eguale a quella dv' provata da B; cioè $dv=dv'$ ossia $v=v'$. Ma è anche $gv=g'v'$, dove, essendo $g>g'$, risulta $v<v'$, e per conseguenza $dv<dv'$; perciò il peso $gv-dv$ di A nell'acqua deve risultare maggiore del peso $g'v'-dv'$ di B pure nell'acqua, come mostra l'esperienza.

Chiamando con q, q' le perdite di peso che provano due solidi qualunque immersi nello stesso liquido, sarà $q=dv$, $q'=dv'$, da cui si ricava la proporzione $v : v' :: q : q'$: cioè *i volumi dei due solidi stanno come le perdite di peso che fanno nello stesso liquido.* Se $v=v'$, sarà eziandio $q=q'$: cioè essendo eguali i volumi dei due solidi riusciranno eguali del pari le perdite di peso provate nello stesso liquido.

523. La perdita di peso d'un solido in un liquido essendo espressa da $q=dv$, si ha $v=\frac{q}{d}$; vale a dire che *il volume del solido è eguale al peso perduto in un liquido diviso per la densità del liquido medesimo.*

L'equazione $q=dv$, moltiplicata per la gravità specifica g del solido, diventa $qg=dvg$, da cui si ricava $g : d :: gv : q$. Siccome poi $gv=p$ peso assoluto del solido; così starà anche $g : d :: p : q$: vale a dire che *la gravità specifica del solido sta a quella del liquido, come il peso assoluto del primo corpo sta al peso perduto nel secondo.*

Se con d, d' si dinotano le gravità specifiche di due differenti liquidi, nei quali lo stesso solido fa le perdite q, q' di peso, e sia v il suo volume; si ha $q=dv$, $q'=d'v$, da cui si deduce
$d : d' :: q . q'$: vale a dire che *le gravità specifiche dei due liquidi sono in ragione delle perdite di peso che in essi provi il medesimo corpo.* Se uno di essi è preso per unità delle gravità specifiche, e quindi sia $d'=1$, la gravità specifica dell'altro liquido sarà $d=\frac{q'}{q}$.

524. Si è veduto che, quando il solido ha maggior densità del liquido dove è sommerso, esso viene a galla (§. 521). Ora aggiun-

giamo che chiamasi *galleggiante* qualunque corpo che si equilibra sulla superficie d'un liquido senza sommergersi nel medesimo. La dottrina dei galleggianti riesce una delle più importanti dell'idrostatica.

Notando con v, u il volume totale e quello della parte immersa del galleggiante, e con g, d le gravità specifiche del solido e del liquido; sarà il peso assoluto del galleggiante espresso da gv e quello della massa fluida rimossa da du. Affinchè il corpo galleggi deve essere $gv-du=o$, ossia $gv=du$; cioè *il peso del galleggiante è eguale a quello del fluido rimosso*. Questa verità fondamentale si dimostra anche coll'esperienza. Nel vaso di vetro ABC si versa dell'acqua sino ad una certa altezza ab, che si segna esattamente sulla parete (fig. 167). Si colloca poscia sull'acqua la palla cava P d'ottone, la quale, per essere vuota internamente, galleggia su quel liquido, immergendosi soltanto per porzione del suo volume, ed innalzando quindi l'acqua nel vaso dal livello ab all'altro mn. Fatto ciò, si apre la chiavetta D e si raccoglie l'acqua, che ne fluisce, dentro una boccetta, di cui si è fatta previamente la tara. Quando, per l'acqua uscita, il livello mn si è riabbassato sino in ab, si chiude di nuovo la chiavetta, e si leva la palla P asciugandola. Ponendo questa palla sul bacinetto della bilancia idrostatica dove trovasi la tara della boccetta, e sul bacinetto opposto la boccetta contenente il liquido sgorgato dal vaso; si trova che il peso dei primi due corpi (tara e palla) fanno equilibrio con quello degli altri due (boccetta ed acqua); per cui il peso della sola palla eguaglia quello del liquido sgorgato ossia del liquido rimosso dalla palla dal livello ab all'altro mn.

Per istituire più speditamente nella scuola la sperienza ed avere un altro indizio, oltre il segno posto al livello ab, del momento di chiudere la chiavetta, si ha preparata una boccetta dell'esatta capacità del liquido che rimove la palla.

In mancanza dell'apparato apposito si opera in questa maniera. Si mette il vaso contenente l'acqua ed il galleggiante sulla bilancia e si equilibra con pesi. Si nota esattamente il punto, cui giunge il liquido e si leva la palla, versando nel vaso nuovo liquido sino a raggiungere il livello primitivo. Con ciò si è rimosso nel vaso tanto liquido quanto era quello spostato dal galleggiante. Siccome si verifica di nuovo l'equilibrio; così resta dimostrato anche in questa maniera il principio annunziato.

L'equazione $gv=du$ è rigorosamente vera soltanto nel vuoto; giacchè il galleggiante, colla parte emergente nell'aria, prova in questo

fluido una perdita di peso per lo stesso principio d'Archimede, il quale riesce insensibile pei piccoli corpi, ma che può diventare una quantità valutabile per quelli voluminosi. Osserviamo altresì che se fra il solido ed il liquido vi ha adesione in modo da sollevarsi all'intorno del galleggiante una zona fluida, questa tende a far affondare di più il solido e quindi a variare la porzione di volume immersa, per cui nell'equazione, al peso *gu* del galleggiante, deve essere aggiunto quello della zona medesima.

525. Pei solidi galleggianti si danno due condizioni d'equilibrio come per quelli sommersi (§. 520), e si riducono alle medesime: cioè, 1° *il liquido rimosso deve eguagliare in peso il galleggiante;* 2° *il centro di gravità del galleggiante e quello della massa liquida rimossa debbono trovarsi sulla stessa verticale.* Variano soltanto le condizioni di stabilità pei solidi, i quali, quantunque nel complesso delle loro parti presentino una massa più densa del liquido, galleggiano però per le cavità di cui sono forniti rimovendo per queste un volume d'acqua che produce una spinta verticale atta ad equilibrare il peso del galleggiante. Imperciocchè per questa specie di galleggianti, una volta che il liquido giunga a riempirne tutti i vacui, la materia deve cadere al fondo, come di maggior densità del liquido medesimo. È appunto questo il caso delle navi e dei vascelli che solcano le acque dei fiumi, dei laghi e dei mari. Per costruire un naviglio veramente insommergibile, è mestieri che tutte le sue parti possano ancora galleggiare, quando venissero inondate dal liquido. Si può conseguire ciò costruendo il naviglio con materie di poca densità, come sono certi legni e principalmente il sovero: talchè, se venisse riempiuto d'acqua tutto lo spazio occupato dai materiali impiegati, quest'acqua presenterebbe un peso maggiore di quello del naviglio. È chiaro che in tal caso, penetrando l'acqua nell'interno del naviglio, questo non affonderebbe e sarebbe realmente insommergibile. Secondo questo principio sono appunto fabbricate le così dette *navi di salvamento*, per accorrere in soccorso degli equipaggi dei vascelli, che naufragano vicino ai porti. Tali specie di costruzioni navali non possono però reggere grandi carichi, nè portare quindi un gran numero d'uomini, d'armi e di mercanzie. In questi galleggianti, come in tutti gli altri costituiti di masse meno dense dell'acqua, le condizioni di stabilità sono le medesime come nei corpi sommersi. Nei vascelli e nelle navi comuni per la stabilità si richiede una condizione speciale, di cui facciamo cenno nel seguente paragrafo.

526. Primieramente diremo che chiamasi *carena* la parte della

nave, la quale trovasi al disotto del piano orizzontale del livello dell'acqua; e il piano stesso poi dicesi *piano a fior d'acqua*, mentre il contorno della nave dove esternamente giunge l'acqua appellasi *linea a fior d'acqua*. Le navi, che devono far cammini più o meno lunghi, non basta che siano momentaneamente in equilibrio su acque perfettamente tranquille, secondo le condizioni precedentemente mentovate; ma debbono avere altresì una certa stabilità, per la ragione che un gran numero di cause accidentali vengono ad ogni istante a disturbare un tale stato.

Sia C il centro di gravità della carena EDF della nave nella sua posizione d'equilibrio in quiete sul fluido EF, e G il centro di gravità della nave (fig. 168). I due centri sono situati sulla stessa verticale CG per essere il galleggiante in equilibrio. Se venga esso ad inclinarsi in maniera che la linea a fior d'acqua sia A'B' (fig. 169) invece della primitiva AB; in questa nuova posizione la carena sarà aumentata della porzione BOB' da un lato e diminuita della porzione AOA' dall'altro lato della retta CGO, che chiamasi l'*asse primitivo* della nave. Per tale cambiamento di posizione il centro della carena è portato in C'. Se da C' s'innalza la verticale C'M sino ad incontrare in M l'asse primitivo CGO, il punto d'intersezione M così determinato chiamasi *metacentro*. Dalla situazione del metacentro per rispetto al centro di gravità del naviglio, dipende la stabilità del naviglio medesimo. Allorquando il centro di gravità G è al disotto del metacentro M, vi hanno due forze eguali; cioè il peso del naviglio che agisce in G dall'alto in basso, e la spinta verticale dal basso in alto, le quali tendono a far rivolgere il galleggiante da destra a sinistra in direzione contraria dell'inclinazione presa da sinistra a destra, e quindi a ricondurre la nave nella sua primitiva posizione d'equilibrio. Nel caso che il naviglio si fosse inclinato dalla parte opposta, le due forze agirebbero pur esse in opposto verso e tenderebbero egualmente alla conservazione dell'equilibrio del galleggiante. Questa posizione del metacentro per rispetto al centro di gravità dà dunque un equilibrio *stabile* al naviglio. Se i due punti G, M coincidono, vi ha ancora equilibrio, ma le due forze non tenderebbero, come precedentemente, a rendere verticale l'asse primitivo CGO. Essendo il centro di gravità G posto superiormente al metacentro M (fig. 170), allora l'equilibrio è instabile; e se il naviglio s'inclina da una parte le due forze tendono a farlo inclinare di più ed a rovesciarlo. La posizione del metacentro si attiene alla forma del naviglio; quella del centro di gravità alla distribuzione del carico, ed è

dalla loro distanza relativa che dipende la rapidità delle oscillazioni per restituire la nave all'equilibrio. Nella maniera di caricare le navi vi ha perciò un'arte particolare a distribuire convenientemente il peso. L'architettura navale si occupa della forma più propria da darsi ai navigli, perchè il metacentro sia situato in modo d'aver la maggior stabilità e da rendere più spedita la corsa sulle acque.

527. Dopo aver mostrato le condizioni d'equilibrio dei galleggianti, riprendiamo l'equazione fondamentale $gv=du$ per l'equilibrio medesimo (§. 524). Essa tradotta in proporzione somministra $g : d :: u : v$; il che significa che *il peso specifico del solido sta a quello del liquido come la porzione di volume immersa al volume totale*. Diminuendo quindi la gravità specifica g del solido, diminuirà dei pari la porzione u di volume immerso, e il solido stesso sporgerà maggiormente dal liquido. Da cui si apprende la ragione della pratica usata per sollevare dal fondo delle acque dei corpi coll'alleggerire gradatamente i galleggianti, cui si attaccano.

528. Sia posto il medesimo galleggiante su due liquidi di gravità specifica d, d': essi per l'equilibrio daranno le due equazioni $gv'=du$, $gv=d'u'$ (§. 524), da cui si deduce $d : d' :: u' : u$: cioè 1° *le gravità specifiche di due differenti liquidi stanno in ragione inversa delle porzioni immerse del volume dello stesso galleggiante.*

Si abbiano ora due galleggianti i cui pesi sono rispettivamente p, p' e s'immergano della stessa porzione v dei loro volumi nei liquidi di gravità specifica d, d'. Per l'equilibrio sarà $p=dv$, $p'=d'v$, da cui si ottiene $d : d' :: p : p'$: vale a dire che *le gravità specifiche dei liquidi, nei quali si equilibrano per l'egual porzione di volume due galleggianti, sono in ragion diretta dei pesi dei galleggianti medesimi.*

Questi due teoremi sono il fondamento di alcuni strumenti, che faremo quanto prima conoscere.

529. Dalle dottrine spiegate s'intenderà facilmente per qual motivo, attignendo l'acqua dal pozzo, il secchio riesce di poco peso sinchè è immerso in quel liquido; e come una pietra, interamente immersa nell'acqua, è innalzata da un uomo, che non era capace di rimoverla quando si trovava sul suolo. Cesserà altresì la meraviglia in alcuni nell'osservare che la corrente dei fiumi e le tempeste di mare rimuovono dei massi nell'acqua del peso di parecchia centinaia di chilogrammi; giacchè le acque in tal caso avranno a vincere soltanto la metà circa del peso di quei corpi. Parimenti l'uomo, immergendosi nell'acqua, trova che il suo corpo è meno pesante. Si comprenderà pure come le barche affondano di più nell'acqua

di fiume che in quella di mare; talchè, quando sono molto cariche e passano dal mare sui fiumi, bisogna alleggerirle onde non affondino. Si osservi altresì che il corpo degli uomini e degli animali annegati, dopo essere rimasti per qualche tempo sott'acqua, viene a galla in causa delle sostanze aeriformi sviluppatesi pel fermento degli umori, per cui è gonfiato ed aumentato di volume senza aumentare di massa, acquistando una spinta verticale capace a portarlo a galla del liquido.

I pesci che vivono nelle acque, s'innalzano o si abbassano nelle medesime in virtù d'un organo particolare, ch'essi hanno la facoltà di gonfiare o di comprimere per aumentare ò diminuire il loro volume e per conseguenza la spinta verticale, che si oppone alla caduta del loro corpo. Quest'organo è la vescichetta natatoria, la quale ha diverse forme nelle differenti specie; ma che è sempre collocata nelle parti superiori per lasciare il peso maggiore in quelle inferiori, e fare che il centro di gravità sia situato più basso del centro della spinta verticale, e sia adempiuta per tal modo la condizione di stabilità (§. 320). Il fluido aeriforme esistente nella vescichetta natatoria si compone di 0,9 d'azoto e soltanto di 0,1 di ossigeno. I pesci in mezzo all'acqua non possono gonfiarsi coll'inspirazione di nuovo fluido o diminuire di volume con emetterne, come gli animali che vivono nell'aria. Quando i pesci vogliono innalzarsi pongono in azione certi muscoli, che gonfiano la loro vescichetta ed aumentano così la spinta verticale, per la quale sono portati a galla. Al contrario la comprimono per sprofondarsi di più nel liquido.

Quest'effetto è reso sensibile dall'apparecchio così detto del *diavolo idrostatico* (fig. 174). La bolla *ab* di vetro contiene dell'acqua e tiene appesa la figurina C di smalto, e il tutto galleggia sull'acqua, di cui è pieno il vaso AB. Questo vaso è coperto d'una pelle, e la bolla è munita inferiormente d'un piccolo foro *b*. Comprimendo la pelle, per es. per mezzo del dito della mano con cui si tiene il vaso, la pressione si trasmette dal liquido all'aria, che si trova nella parte superiore *f* della bolla ed obbliga con ciò ad entrarvi nuovo liquido. In tal maniera aumenta il peso di tutto il corpo galleggiante, il quale non può più essere equilibrato dalla spinta verticale e discende verso il fondo del vaso AB. Cessando la compressione, l'aria per la sua elasticità si dilata di nuovo, espelle l'acqua entrata nella bolla, e riacquista il peso primitivo, per cui la spinta verticale prevale di nuovo e fa risalire a galla la bolla colla

figurina. Tali discese ed ascensioni si possono ripetere a piacere, ed a chi ne ignora la causa si può far credere che siano eseguite per comando della persona, da cui è istituito l'esperimento; ed è per questa ragione che si diede al fenomeno il nome di diavolo idrostatico.

530. Dopo aver considerato la variazione del volume dei corpi galleggianti, importa di esaminare la costanza o la variazione di volume dei fluidi, ove essi sono immersi. Si è veduto che i liquidi sono difficilmente compressibili, e che si richiedono grandi forze per diminuire di poco il loro volume. Nulladimeno i liquidi, che sembrano ribelli alle forze esterne dirette a far subire qualche cambiamento al loro volume (§. 516), cedono alla forza del calorico, cui sono soggetti tutti i corpi della natura.

Riscaldando un liquido, esso in generale si dilata, e il contrario succede se si raffreddi o si sottragga del calorico. La dilatazione dei liquidi in virtù del calorico si attiene alla natura chimica o alla coesione delle loro molecole al pari di quella dei solidi (§. 432), e presentano appunto per questo alcune anomalie, che esamineremo nel capitolo del calorico. Ci limiteremo qui a far notare che, dei tre liquidi alcoole, acqua e mercurio, più di sovente adoprati nelle sperienze e nelle indagini della nostra scienza, il primo è dotato di maggior dilatabilità del secondo, e questo del terzo. Entro certi limiti di temperatura il mercurio si dilata di 1/5550 per ogni grado del termometro centesimale, mentre l'alcoole riesce 6 in 7 volte più dilatabile. Il mercurio ha una dilatazione più uniforme e più esatta dell'alcoole, la cui dilatabilità varia eziandio secondo il suo stato più o meno puro. L'acqua ha una dilatabilità ancor più irregolare dell'alcoole. Quantunque fra i limiti delle temperature del ghiaccio deliquescente e dell'ebollizione subisca 1/21 circa di aumento del suo volume a zero, le dilatazioni però non si fanno con uniformità per ogni grado del termometro centesimale, ed a 4° del medesimo essa acquista il massimo di densità, dilatandosi di nuovo ad una temperatura minore invece di condensarsi. Nel capitolo del calorico, come si disse, esamineremo la dilatazione dei diversi corpi, e quindi anche quella dell'acqua.

531. I liquidi al pari dei solidi (§. 425) non hanno l'egual peso specifico, il quale varia per ognuno di essi. Importa quindi che ci occupiamo della determinazione di questo peso; tanto più che la sua cognizione presenta un maggior numero di casi di applicazione del peso specifico dei solidi. Gli stessi principii, che ci hanno gui-

dati a stabilire la maniera di trovare il peso specifico dei solidi, servono anche per determinare quello dei liquidi, con alcune modificazioni inerenti allo stato di questi corpi.

Rammentiamo che l'acqua è pei liquidi come pei solidi l'unità di confronto pei pesi specifici. Facendo uso del principio d'Archimede, si prende un solido, che non s'imbeva dei liquidi, per esempio una palla d'ottone, e si osserva quanto peso esso perde immerso nell'acqua distillata al grado della sua massima densità, e si ripete la stessa operazione pel liquido di cui si cerca la gravità specifica. Dividendo la prima perdita per la seconda, il quoziente darà la gravità specifica richiesta del liquido in confronto di quella dell'acqua presa per unità (§. 523). Supponiamo che la perdita provata nell'acqua sia di grammi 42,8 e quella in una certa specie di olio di grammi 39,4, il quoziente 0,921 esprimerà la gravità specifica dell'olio proposto.

552. L'*areometro a boccetta*, di cui si è fatto cenno altrove per trovare la gravità specifica dei solidi (§. 428), è destinato principalmente pei liquidi senza servirsi dei pesi comuni. A tal fine oltre la *tara* della boccetta, vi ha unito allo strumento diversi altri pesetti, sui quali vi è notato di già il numero esprimente la gravità specifica del liquido. Questi pesetti sono altrettante frazioni decimali del peso dell'acqua distillata, di cui è capace la boccetta, presa per unità, e di multipli del medesimo. L'acqua, cui si riferiscono questi pesi, è distillata e presa alla temperatura del 4 gradi di termometro centesimale, che costituisce il massimo della sua densità (§. 530). Ponendo sopra un bacinetto della bilancia idrostatica la boccetta piena esattamente di liquido, e sull'altro la tara ed i pesetti necessarii all'equilibrio, questi danno tosto la gravità specifica del liquido medesimo in confronto dell'acqua presa per unità. — Del resto in mancanza dell'areometro a boccetta si può far uso dello stesso principio operando con una fiala in un modo consimile a quello insegnato pei solidi (§. 428).

553. Le dottrine della gravità specifica dei liquidi trovano parecchie applicazioni alle scienze, alle arti, ed ai bisogni della società, come si è veduto di quelle dei solidi (§. 431).

L'uomo per galleggiare sull'acqua ha cercato di unirsi ad un corpo o a parecchi corpi specificamente meno pesanti di quel liquido, onde rimoverne in tanta quantità da far nascere una spinta verticale capace di equilibrare il suo peso ed impedire che affondi e si sommerga. Il complesso di questi corpi, qualunque sia la loro forma e combinazione, costituisce quell'apparato, che si appella *scafandro*.

Talvolta esso è formato d'un semplice cilindro cavo fatto di lamine di latta e piegato sotto la forma di anello, che si assicura al disotto delle ascelle della persona, oppure di vesciche gonfie applicate nell'egual modo. Qualche altra consiste in una *giubba e in calzoni* di tela, che hanno il collo, la cintura ed altre parti imbottite di lamine di sovero. L'uomo indossa questi abiti e con essi diventa specificamente meno pesante dell'acqua, su cui galleggia colla testa per poter adempiere alle funzioni della respirazione e non essere soffocato. In alcuni casi servono di scafandro due specie di larghi stivali fatti di lamine di latta e terminati con orlo costituito da un anello pure di latta. La persona introduce in questi stivali galleggianti sull'acqua, i piedi e sopranuota alla medesima come sopra una barca. Gli ordinarii *apparàti di salvamento* si compongono di pezzi di sovero infilati in un cordoncino, con cui sono assicurati intorno al collo o al petto: essi hanno un volume tale che rendono l'uomo specificamente meno pesante dell'acqua, e riescono un vero scafandro. I Cinesi, abitanti vicino ai fiumi, usano di sospendere al collo dei loro pargoli una palla cava poco pesante, per la quale la testa è ritenuta a galla dell'acqua, e così hanno tempo di salvarli se per accidente cadessero nel fiume. Ho veduto a far servire di scafandro un robusto tessuto gommato ed assicurato all'intorno d'un solido telaio di legno munito d'un orlo alquanto rilevato. L'apparato si distende sulle acque, e l'uomo, adraiato sulla tela, vi forma una concavità ed è portato dalla corrente come sopra una barca.

In ogni caso lo scafandro deve essere costrutto in modo da far prendere al centro di gravità la posizione più bassa possibile, onde evitare alla persona il pericolo di capovolgere e d'affondare nell'acqua. Appunto per tal ragione riescono pericolosi come scafandro, gli stivali di latta, a meno che la persona non siasi esercitata a moversi con essi nell'acqua come fanno alcuni sulla terra coi trampoli.

Il corpo umano, dopo una grande inspirazione, è meno pesante dell'acqua e galleggia con circa la metà della testa senza sforzo, e tanto più facilmente nell'acqua di mare, che è più densa di quella dolce dei laghi e dei fiumi. Basterebbe dunque, per mantenere la respirazione e la vita, di far in modo che la sola faccia emergesse dall'acqua. Alcuni nuotatori conoscono per pratica questa proprietà del peso specifico del corpo umano, e discendono colla corrente adraiati nell'acqua tenendo il solo volto demerso dalla medesima. Diversi scrittori danno pel peso specifico del corpo umano 1,11: vi sono però parecchie persone che l'hanno minore. In alcune opere di

fisica anche straniere si cita *Paolo Moccia* napolitano, il quale, abbandonandosi nell'acqua del mare, si sprofondava in essa col corpo soltanto sino alla linea posta appena al disopra del ventre, avendo nel 1767 fatte nei dintorni di Napoli parecchie prove nel mare della sua insommergibilità.

534. Data la materia di gravità specifica minore di quella dell'acqua, sia per le cavità di cui è fornita o per la propria natura, si può determinare in generale la quantità necessaria da aggiungersi al corpo umano o a qualunque altro corpo per essere equilibrato nell'acqua.

Chiamiamo P e G il peso assoluto e specifico del corpo, che si vuol far galleggiare; x, g le analoghe quantità delle materie da aggiungersi, e d il peso specifico del liquido. Il volume del corpo dato è espresso da $\frac{P}{G}$ e quello del corpo aggiunto da $\frac{x}{g}$, per cui la spinta verticale o il peso del liquido, rimosso dai due corpi assieme immersi nel medesimo, sarà rappresentata da $\left(\frac{P}{G}+\frac{x}{g}\right)d$, la quale deve eguagliare la somma $P+x$ dei pesi da essa equilibrati. Si verificherà dunque l'equazione $P+x=\left(\frac{P}{G}+\frac{x}{g}\right)d$, dalla quale si ricava $x=\frac{Pg(G-d)}{G(d-g)}$. Per mostrare un'applicazione, sia il peso d'un uomo, $P=60$ chilogrammi, la cui gravità specifica $G=1,11$; si domanda quanto sovero x della gravità specifica $g=0,240$ bisognerà unirvi per equilibrarsi nell'acqua della gravità specifica $d=1$. Sostituendo questi valori nell'equazione precedente e facendo le opportune operazioni, si ottiene $x=1,88$; vale a dire che con chilogrammi 1,88 di sovero l'uomo si equilibrerà nell'acqua.

La formola si applica a qualunque altro solido che si voglia equilibrare nell'acqua, soltanto per farlo demergere in parte dal liquido e veramente galleggiare, bisognerà aumentare qualche poco la quantità del corpo da aggiungersi. Secondo questo principio furono condotte le grandi colonne di granito, che ornano il tempio di San Paolo vicino a Roma. Dal Lago Maggiore, galleggiando pel Ticino e pel Po, entrarono nel mare Adriatico, da dove passando nel Mediterraneo e risalendo il Tevere giunsero a Roma per essere impiegate nella riedificazione di quel tempio distrutto da un incendio.

535. Si riferisce a queste dottrine *il problema della corona* pro-

Digitized by Google

posto dal re Erone ad Archimede, nel quale si trattava di determinare le quantità d'oro e d'argento, che entravano nella composizione della medesima senza guastarla, e così verificare se aveva commesso frode l'artefice che la costrusse.

Sia p il peso della corona o del composto e d la sua gravità specifica; sia inoltre G la gravità specifica d'uno dei metalli componenti e g quella dell'altro, mentre x è il peso assoluto della prima materia e per conseguenza $p-x$ quello della seconda. Supponendo che nella composizione o lega dei due metalli non abbia luogo variazione nei volumi, e che quindi la somma dei volumi parziali del due componenti eguaglia il volume del composto, si avrà come è chiaro l'equazione $\frac{p}{d}=\frac{x}{G}+\frac{p-x}{g}$, da cui si ricava $x=\frac{pG(d-g)}{d(G-g)}$. Per fare un'applicazione supponiamo $d=15,109$, che è la gravità specifica dell'oro del titolo di 20 carati, con cui si fabbricano gli ornamenti per le signore; sapendosi d'altronde che per l'oro puro è $G=19,253$ e per l'argento $g=10,475$; supponiamo altresì che la corona abbia il peso assoluto $p=3,18$ chilogrammi. Sostituendo questi valori, si trova $x=2,139$; cioè l'oro contenuto nella corona era di chilogrammi 2,139 e per conseguenza l'argento di chilogrammi 1,041.

La soluzione del problema suppone che nella lega d'oro e d'argento il volume del composto eguaglia la somma dei volumi dei due componenti, il che non si verifica. Per tenere conto di questa sorgente d'errore bisognerebbe dapprima sperimentare con determinati volumi d'oro od argento quale variazione si ha in quello del composto (§. 65).

556. Molti altri vantaggi si traggono dalla cognizione delle gravità specifiche, oltre quelli fatti conoscere altrove pei solidi (§. 431).

In un vaso di nota capacità è contenuto un liquido, si desidera conoscerne il peso. Determinata la gravità specifica di questo liquido, ed essendo v la capacità del vaso, si avrà colla nota formola il peso richiesto $p=gv$. Se il vaso contiene dell'olio della gravità specifica 0,915 ed è della capacità di 340 decimetri cubici, si avrà sostituendo $p=311,10$, cioè il peso dell'olio eguaglierà quello di decimetri cubici 311,10 d'acqua, ossiano chilogrammi 311,10.

In alcuni casi è facile avere il peso del liquido, e riesce malagevole valutarne il volume per le irregolarità del vaso dove è contenuto. In tal caso dalla nota formola si ha tosto $v=\frac{p}{g}$. In un vaso si con-

tengono chilogrammi 480 di vino della gravità specifica di 1,054, si domanda la capacità del vaso. Sostituendo questi valori nella formola, si ha per la capacità richiesta $v=455,40$, cioè il vaso sarà della capacità di decimetri cubici 455,40.

Dalla formola $gv=du$, superiormente trovata per l'equilibrio d'un galleggiante (§. 524), si ha $\frac{gv}{d}=u$, dove gv esprime il peso p del galleggiante, e per conseguenza nel caso dell'acqua, per la quale è $d=1$, si avrà $p=u$, vale a dire che il peso del galleggiante è proporzionale al volume sommerso u di esso. Si vede quindi come da questo volume si possono dedurre i rapporti dei diversi carichi della nave o del bastimento. È appunto dal volume immerso che in alcuni porti si valuta dai doganieri il peso delle mercanzie, che si trovano sopra un bastimento, e che per l'introduzione devono pagare in ragione del loro peso una certa gabella allo Stato. Su questo principio s'è imaginato un *pesa-carri idrostatico*, che potrebbe far le veci della bilancia a ponte (§. 447). È stato proposto un altro pesa-carri fondato però sul principio del paradosso idrostatico (1).

557. I metodi descritti per valutare le gravità specifiche riescono della maggior importanza per riconoscere lo stato di purezza d'un liquido, ossia verificare se esso sia stato alterato da sostanze in esso sciolte o da liquidi di minor valore col medesimo mescolati. In ogni caso cambia la gravità specifica, la quale può quindi essere un criterio per giudicare della purezza di quei fluidi. I liquidi infatti si mescolano fra loro dando luogo ad un composto, che si mostra cogli stessi caratteri apparenti. L'acqua, per esempio, scioglie molti sali ed assorbisce il gas acido carbonico e cloridrico. L'acqua pura è limpida e senza colore, come lo sono anche le acque impure feltrate. L'acqua piovana e quella risultante dalla liquefazione della neve si possono ritenere pure come l'acqua ottenuta per mezzo della distillazione. L'acqua di fonte invece tiene sciolte delle sostanze calcari ed altre materie eterogenee. Le prime in generale sono più atte di questa alla cucinatura, alla lavatura, all'imbiancamento, perchè in situazione d'esercitare maggior affinità sulle materie, che servono in quelle arti (§. 22). L'acqua di mare contiene diversi sali, e quelle minerali tengono pure sciolte diverse sostanze saline, ossido od acide, per cui s'impiegano con vantaggio nel trattamento di diverse

(1) Se ne può vedere la descrizione negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, tom. XVII, pag. 101.

malattie. Quanto si è detto dell'acqua si estende anche a molti altri liquidi, che pei loro usi nelle arti e pei bisogni della società, hanno un certo valore, e nel commercio sono alterati dalla cupidigia del guadagno con sostanze di minor prezzo. Tali sono gli olii, le sostanze spiritose, diversi acidi, il mercurio, il latte ecc., la cui falsificazione si scopre colla determinazione in ogni caso della gravità specifica.

Nel commercio e nelle contrattazioni sociali non si hanno pronti i mezzi e gli apparati necessarii per determinare all'evenienza la gravità specifica; d'altronde è necessario un metodo più spedito per valutare la bontà del liquido. A tal fine si sono imaginati gli *areometri* ed i *pesaliquori*. Avanti l'invenzione di questi semplicissimi strumenti, si giudicava nel commercio della bontà dello spirito di vino lasciando cadere sulla sua superficie una goccia d'olio, e dall'affondare essa in quel liquido si argomentava della sua bontà; giacchè la forza delle sostanze alcooliche è in ragione inversa delle loro densità, e quanto più questa è piccola tanto più facilmente un altro corpo affonda in esse. I *globi areometrici* si sono altresì adoprati per tale verificazione. Essi consistono in una serie di piccole sfere cave di vetro, differenti l'una dall'altra in peso specifico. Gettandone sul liquido un certo numero, tutte quelle che sono più pesanti cadono al fondo, e quelle meno pesanti risalgono alla superficie. Si legge allora il peso specifico del liquido sull'interno di quelle venute a galla senza sporgere dal livello; giacchè tutte queste sfere sono numerizzate. Infine diremo che si è proposto di far uso per tale scopo dell'equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti, sapendosi che essi si mettono ad altezze, che sono in ragion inversa delle loro gravità specifiche (§. 512). Tutte queste maniere di verificazione dei liquidi scomparvero dopo l'invenzione degli areometri e dei pesaliquori.

538. Gli *areometri* sono corpi galleggianti, che fanno immediatamente conoscere la gravità specifica dei liquidi, dove s'immergono. Essi sono di due specie, gli *areometri a volume variabile* e gli *areometri a peso variabile*.

Gli areometri della prima specie sono fondati sul teorema I del §. 528. Essi consistono in un tubo *abc* di vetro (fig. 172), che inferiormente prende la forma d'una sfera allungata e termina in un globetto *c*. In questo si contiene del mercurio o dei pallini di piombo, che servono di zavorra allo strumento, e portano a basso il suo centro di gravità per disporlo, nel galleggiare, verticalmente. Sopra una lista di carta posta nell'interno del tubo o sullo stesso vetro sono segnate le divisioni, che indicano le gravità specifiche. Sulla scala

è notato lo zero alla divisione, dove giunge l'areometro posto a galleggiare nell'acqua distillata presa ad una temperatura stabilita, che in alcuni è di 10° del termometro centesimale. Dallo zero i numeri, posti sulle divisioni, crescono gradatamente d'un'unità tanto verso l'alto che verso il basso. Gli uni e gli altri equivalgono ad altrettanti decimi dell'unità della gravità specifica. Si osservi però che quelli posti superiormente, indicando il luogo dove giunge l'areometro nei liquidi meno densi dell'acqua, nei quali esso si sprofonda di più pel teorema su citato, sono frazioni decimali, che si scrivono a canto allo zero situato nel luogo delle unità; mentre gli altri si mettono come frazioni decimali dopo l'unità Quegli intervalli sono ben anche suddivisi in dieci parti, che danno i centesimi della frazione decimale.

Per istabilire la scala, dopo aver segnato lo zero nel modo indicato, bisognerebbe valutare i volumi che devono immergersi nei diversi liquidi, onde applicare il teorema all'indicazione delle gravità specifiche sullo strumento. Ma non riesce così facile la determinazione dei rapporti di quei volumi, per cui essi si deducono dall'equazione $u = \frac{p}{d}$, dove p è il peso del galleggiante e d la gravità specifica del liquido (§. 524). Da essa si ha la porzione u di volume con cui successivamente s'immerge l'areometro in liquidi, dei quali si è determinata previamente la gravità specifica d coi metodi insegnati. Dividendo ogni volta il peso p dell'areometro per la gravità specifica del liquido, si avrà il numero proporzionale alla gravità specifica stessa, che si noterà sulla divisione, dove giunge lo strumento galleggiando sul liquido medesimo.

539. Ci sembra più spedito, per la graduazione della scala, il seguente metodo, nel quale si fa uso di un solo liquido. Si trova esattamente il peso p dell'areometro, e il punto dove si equilibra immerso nell'acqua distillata. Si appende poscia alla bilancia idrostatica immergendolo di tanto nella stessa acqua che equilibri il peso $\frac{1}{2}p$ posto sulla bilancia medesima osservando pure il punto d'immersione. Il peso dell'acqua rimossa in questo caso non sarà che $\frac{1}{2}p$, ed il volume immerso la metà di quello precedente. Ma questa metà di volume di acqua rimosso dall'areometro è appunto quello del liquido di doppia densità che egli rimove con tutto il suo peso, perciò la divisione notata indicherà il punto dove giungono i liquidi di doppia gravità specifica. Si opererà nell'egual maniera per le graduazioni corrispondenti alle altre densità, oppure, se il tubo ha nella

superficie esterna esattamente l'egual diametro, si dividerà l'intervallo così determinato in parti decimali, che indicheranno i gradi della scala.

540. Bellani ha migliorato l'areometro a volume variabile, dandogli la forma interamente di cilindro, che è pure zavorrato, ed aggiungendovi un *tubo d'assaggio*, col quale si può sperimentare su piccolissime quantità di liquido. Quest'aggiunta riesce molto vantaggiosa, quando si tratta di operare su liquidi di qualche valore e non se ne può avere a disposizione grandi quantità (1).—L'*areometro a cilindro* vedesi in *Aa* (fig. 172) col suo tubo d'assaggio BC.

Nel far uso degli areometri, principalmente dei descritti appartenenti alla prima specie, bisogna usare certe cautele, onde non incorrere in errori. I. Di non immergere la porzione superiore del tubo oltre il bisogno, altrimenti il liquido, aderendo alla parete del vetro, ne aumenterebbe il peso e farebbe immergere l'areometro oltre il punto richiesto. II. Nell'osservare il grado d'immersione importa di dirigere l'occhio radente il pelo del liquido. III. Bisogna, prima d'osservare, lasciare tempo che lo strumento diventi stazionario, onde cogliere il giusto punto, che segna la gravità specifica del liquido.

541. Gli areometri della seconda specie hanno per fondamento il teorema II del paragrafo 528. Essi consistono in una specie d'elissoide allungato A di vetro (fig. 173), che termina inferiormente nel globetto C zavorrato per far prendere allo strumento nel liquido la posizione verticale. Superiormente porta un bacinetto B, sul quale si mettono dei pesi per sommergere sempre l'areometro sino al segno *d*, che chiamasi *punto d'affioramento*. Non avvi veruna scala, ma dai pesi, collocati sul bacinetto per affiorare lo strumento, si deduce la gravità specifica del liquido. In questa specie d'areometri dunque *varia il peso* del galleggiante, restando costante il volume immerso; mentre in quelli dell'altra specie *varia il volume* e rimane costante il peso.

Per comprendere come si opera nel rinvenire la gravità specifica, sia *p* il peso dello strumento e *q* la somma di quelli posti sul bacinetto per affiorarlo in un liquido, mentre *q'* è il peso addizionale per avere l'affioramento nell'acqua distillata alla temperatura stabi-

(1) Vedi la *Nuova scelta di opuscoli interessanti sulle scienze e sulle arti di Amoretti*, tom. I, Milano 1804; e il *Giornale della società d'incoraggiamento di Milano*; fascicolo di marzo 1808.

lita. Pel teorema su citato starà $p+q : p+q' :: d : d'$, essendo d e d' le gravità specifiche del liquido proposto e dell'acqua. Essendo $d'=1$, risulterà $d=\frac{p+q}{p+q'}$. In quest'espressione, le quantità p, q' sono costanti, e si può per ogni strumento formare una tavola, nella quale, pei successivi valori di q crescenti d'una piccola frazione, siano notati accanto i corrispondenti valori di d; e così, dopo aver trovato q coll'esperienza, conoscere tosto dalla tavola la gravità specifica del liquido.

342. Si è fatto da Nicholson un'aggiunta all'areometro a peso variabile; coll'ajuto della quale si può determinare eziandio la gravità specifica dei solidi, tanto che siano più densi quanto meno densi dell'acqua. Siccome in tale determinazione si trova anche il peso assoluto del solido che si cimenta; così taluni sogliono chiamare l'istrumento di Nicholson *areometro-bilancia* Consiste esso in un cilindro A verniciato, che si costruisce con lamine d'ottone o di latta e termina alle estremità in forma di cono (fig. 174). Inferiormente è munito d'un gancetto, al quale si appende una specie di secchiolino B zavorrato; superiormente poi s'innalza, nella direzione dell'asse, l'asticella cb, che porta il bacinetto b fatto pure di metallo, ed ha in d segnato il punto di affioramento. L'areometro, posto nell'acqua ed abbandonato a se medesimo, rimane per porzione del suo volume demerso.

Per trovare la gravità specifica dei liquidi con questo areometro si opera come col precedente. Pei solidi, si pongono sul bacinetto i pesi p necessarii ad affiorare lo strumento nell'acqua distillata; poscia si sostituisce a p sul bacinetto il solido, il cui peso diremo x, aggiungendovi il peso q necessario per ottenere un nuovo affioramento. È manifesto che sarà $x=p-q$; cioè si avrà il peso assoluto del corpo proposto. Si metta poscia il corpo nel secchiolino, col quale si sommerge nel liquido, perdendo con ciò di peso: si mettono di nuovo nel bacinetto i pesi q' necessarii per ottenere un terzo affioramento, e il peso perduto risulterà $q-q'$, che rappresenterà anche, secondo il principio d'Archimede, il peso dell'egual volume d'acqua. Dunque la gravità specifica del solido è espressa da $\frac{p-q}{q'-q}$. Supponiamo che pel primo affioramento siano stati necessarii 457 centigrammi, nel secondo 72 e nel terzo 107; in questo caso la gravità specifica del solido sarà $\frac{457-72}{107-72}=10,429$.

Quando il solido fosse meno denso dell'acqua, esso verrebbe a galla e non riposerebbe sul fondo B del secchiolino. In tal caso questo si capovolge e si attacca all'areometro pel gancetto, che nella figura è situato verso il basso e che nel rivolgimento verrà a prendere il luogo superiore. Il solido tendendo venir a galla, sarà arrestato nella sua ascensione dal fondo capovolto del secchiolino e spingerà all'insù l'istrumento. Affinchè non si annidano bolle d'aria nella cavità di B, il secchiolino è traforato. Nel resto si opera facendo i tre affioramenti come precedentemente. Supponiamo che siano abbisognati pel secondo e terzo affioramento 242 e 462 centigrammi, mentre pel primo se ne richiedevano 437. In questo caso la gravità specifica risulterà eguale a $\frac{437-242}{462-242}=0,886$.

543. I *pesaliquori* sono specie d'areometri formati di tubi di vetro somiglianti a quelli della figura 172. La loro scala non dà la gravità specifica del liquido, dove s'immergono; ma ne fa conoscere soltanto il grado di concentrazione. Vi sono pesa liquori per gli acidi, detti anche *pesacidi*; altri per le sostanze spiritose, o *pesaspiriti*; altri ancora per le soluzioni saline o *pesasali*: e ciò per la ragione che gli acidi possono essere più o meno allungati con acqua, le soluzioni saline più o meno concentrate, l'acquavita ed i liquori più o meno ricchi di alcoole. Talchè quanto meno il pesa liquore si affonderà nelle soluzioni saline o nell'acido solforico o simili, tanto maggiore sarà la loro bontà; al contrario sarà dell'alcoole e dei liquori spiritosi. Per uso del commercio si costruiscono eziandio dei pesaliquori speciali per un tal liquido, ciascuno dei quali ha una scala particolare: così vi ha l'*idrometro* per l'acqua, l'*enometro* pel vino, il *galactometro* pel latte, il *gleucometro* pel mosto, il *birrometro* per la birra, l'*alcoometro* per l'alcoole, l'*oleometro* per l'olio, ecc. Tutti questi pesaliquori variano ben anche nella loro scala dall'una all'altra piazza di commercio delle diverse nazioni (1). Daremo un'idea del modo con cui si può costruire un pesaliquore, prendendo ad esempio quello per le sostanze spiritose e per l'acquavite.

Primieramente s'immerge l'istrumento nell'acqua pura, notando

(1) Per l'*alcoometro* usato alle dogane di Francia si vegga l'*Instruction pour l'usage de l'alcoomètre centésimal*, de Gay-Lussac. Parigi, 1824; e per l'*oleometro*, gli *Annali di fisica* ecc. di Majocchi, tom. IX, pag. 406. Nelle dogane degli Stati d'Italia si fa uso pei liquidi spiritosi di pesa liquori differenti.

il punto sul tubo sin dove esso discende, il quale è uno dei punti estremi della scala. Per fissare l'altro estremo si pone il pesaliquore a galleggiare nell'alcoole spogliato con ripetute distillazioni di tutte le sostanze eterogenee, e si segna il punto sin dove discende. L'intervallo compreso fra quei due punti si divide in 100 parti che si segnano sul tubo o sopra una cartolina in questo introdotta, e si ha così la scala dello strumento. Per fissare dei gradi intermedii si può anche immergere successivamente il pesaliquore in miscugli formati di 10, 20, 30 ecc. parti in peso d'acqua e di 90, 80, 70 ecc. parti d'alcoole distillato. L'istrumento, in tal modo graduato, è chiaro che, dalla più grande o più piccola profondità (indicata dalla scala), farà conoscere non solo il grado di bontà dell'alcoole o dell'acquavite in cui si è immerso; ma eziandio la quantità di spirito assoluto, che vi si contiene.

544. I pesaliquori dunque sono in generale piuttosto *strumenti di commercio* che *strumenti della scienza*; giacchè i gradi servono a regolare il corso della merce senza indicare la proporzione degli elementi di cui è costituita. Nel commercio si è adottato generalmente un solo pesaliquore per tutti i liquidi più densi dell'acqua, ed un altro per tutti quelli meno densi. I pesaliquori di questa specie più usitati sono quelli di Beaumé, che hanno una scala convenzionale stabilita nel modo che andiamo a dichiarare.

Il pesaliquore, detto anche impropriamente areometro di Beaumé, pei liquidi meno densi dell'acqua ha gli estremi della scala stabiliti nel modo seguente: lo zero è segnato al punto ove giunge lo strumento posto nella soluzione composta di 10 parti in peso di sale comune secco e 90 parti d'acqua pura; e l'altro estremo, che si nota con 10, ove lo tocca l'acqua distillata, in cui viene immerso. L'intervallo fra i due punti si divide in 10 parti eguali, che sono i gradi, e che si prolungano segnandoli anche al di là dei punti medesimi.

Gli estremi della scala pei liquidi più densi dell'acqua si ottengono nello stesso modo con l'acqua distillata e con una soluzione composta di 85 parti in peso d'acqua pura e 15 di sal comune. Il punto, ove giunge l'istrumento nell'acqua distillata si segna con zero e l'altro con 15, e si divide l'intervallo in 15 parti eguali, che si prolungano egualmente al di là di quegli estremi e costituiscono i gradi.

545. Gli areometri e i pesaliquori hanno reso dei grandi servigi alle scienze applicate e principalmente al commercio. Dupin riporta un esempio in prova di questa proposizione, dal quale apparisce

come l'invenzione di strumenti così semplici, come l'areometro ed il pesaliquore, possono avere delle conseguenze importanti pel commercio e per la ricchezza delle nazioni: tale è il vantaggio della scienza. Sin poco dopo la metà del trascorso secolo, gli Spagnuoli, possedendo dei vini spiritosi proprii alla distillazione, vollero entrare in concorrenza coi Francesi nella fabbricazione dell'acquavite, senza saperne misurare la concentrazione coi pesaliquori, limitandosi, per valutarla, a lasciar cadere una goccia d'olio da una certa altezza sulle loro acquavite. Con questo mezzo però di valutazione erano tratti spesso in errore (§. 537), e fornivano allo straniero delle acquavite assai differenti; per cui i loro prodotti acquistarono una cattiva riputazione. Venivano quindi costretti a venderli ai loro vicini a basso prezzo, i quali sapevano misurarne la concentrazione coi pesaliquori e ridurli al grado preciso, che esigevano i bisogni del consumatore. Questo commercio nel settentrione dell'Europa fruttava loro quattro milioni di franchi all'anno, che ritornò a profitto degli Spagnuoli dopo che conobbero anch'essi i pesaliquori. Ciò mi rammenta il fatto del mercante chinese, il quale, conforme alla mostra, aveva venduto al padrone d'una nave mercantile europea una certa quantità di spirito distillato; l'ignorante Cinese non si fece scrupolo di aggiugnere alla sua mercanzia una buona quantità d'acqua, e poscia la fece trasportare a bordo della nave. Il negoziante europeo, ricevendo lo spirito, lo mise alla prova dell'areometro e scoprì, con grande meraviglia, la falsificazione, trovandolo di molto inferiore alla mostra su cui era stato stabilito il contratto. Egli rinfaccia quindi al Cinese la sua mala fede e rifiuta la mercanzia; ma questi, che non conosceva verun mezzo umano per iscoprire una tale frode, negava tutto e cercava d'assicurare l'Europeo di essere lo spirito eguale a quello della mostra. Quando però sentì a specificare la quantità d'acqua aggiunta al liquore, un terrore superstizioso s'impadronì del Cinese e confessò la frode, e non solo cambiò lo spirito in altro di bontà eguale alla mostra, ma offrì al mercante europeo di comprare lo strumento al prezzo che egli voleva, prevedendo bene i servigi che ne poteva ritrarre pel suo commercio.

546. All'appoggio dei principii dell'idrostatica si possono combinare parecchi problemi per esercizio degli studiosi, fra i quali presentiamo i seguenti.

Nei mari vicini al polo una massa di ghiaccio galleggiava sulle acque e sporgeva in parte dal livello; supposta di forma parallelepipeda, si domanda qual era la sua altezza totale? — Chiamando m

l'altezza della porzione demersa ed x la totale, si trova $x=\frac{dm}{d-g}$, dove d è la gravità specifica dell'acqua di mare e g quella del ghiaccio. Si può applicare al caso di $d=1,030$ e $g=0,950$.

Si ha un cubo di lato m formato di materia solida omogenea della gravità specifica g maggiore di quella d d'un liquido, che sopranuota ad altro liquido più denso di gravità specifica G; si domanda quanto affonderà il solido nel secondo liquido, affinchè, sommerso nel primo, stia in equilibrio, e in qual caso il solido sporgerà dal livello del liquido superiore? — Sia x la porzione del cubo sommersa nel liquido di maggiore densità, si trova essere $x=\frac{m(g-d)}{G-d}$. Chiamando poi a l'altezza del liquido meno denso, la quale deve essere minore di m, si ha per l'altezza del solido, sporgente da questo secondo liquido, $y=\frac{m(G-g)-a(G-d)}{G}$.

Due solidi hanno rispettivamente i pesi assoluti P, p e quegli specifici G, g, si desidera conoscere la gravità specifica del loro composto? — Chiamando x la gravità specifica richiesta, si trova $x=\frac{Gg(P+p)}{Pg+pG}$.

Si lascia alla perspicacia dello studioso di trovare l'analogia che vi ha fra la formola, che dà la soluzione dell'ultimo problema, con quella relativa allo scafandro (§. 534) ed alla corona di Erone (§. 435), come pure colla formola che dà ragione del metodo insegnato per rinvenire la gravità specifica d'un solido più denso dell'acqua (§. 427).

SEZIONE II.

Della dinamica dei liquidi od idrodinamica.

547. Il movimento dei liquidi è argomento di grande importanza per la meccanica razionale, a cui esso presenta spesso delle questioni le più complicate e le più difficili. Trovandosi una massa liquida in quiete, basta, per toglierla da questo stato, il semplice dislocamento di qualche sua molecola, per cui in tutte le altri parti risultano dei movimenti modificati in tante maniere differenti nelle velocità e nelle direzioni, che riesce appena possibile di concepire la varietà e la composizione dei fenomeni, ai quali essi danno nascimento. Si hanno

però alcune leggi fondamentali ed alcune sperienze, donde, senza molto calcolo, si deducono parecchie conseguenze di qualche interesse per la nostra scienza.

L'*idrodinamica* in generale ha per oggetto di determinare i principii fondamentali del moto dei liquidi; mentre nell'*idraulica*, come si disse, si apprende come questi principii guidano alle norme, che regolano la condotta delle acque, ed insegnano a servirsene come motori nella meccanica (1). Ci limiteremo a quanto riguarda più da vicino la nostra scienza, ed ai vantaggi che immediatamente ne derivano.

548. Abbiamo veduto nella precedente sezione che i liquidi possono mettersi in equilibrio o conservarsi in quiete soltanto dentro vasi o recipienti, i quali colle pareti ne impediscono lo spandimento sulla superficie terrestre. Per esaminare quindi il moto di questi corpi è mestieri raccoglierli in vasi, nelle cui pareti si pratica un foro, pel quale il fluido scola e cessa d'essere in equilibrio o in quiete. Infatti il liquido, nella parte corrispondente al foro, non è più sostenuto, ed esce con una certa velocità formando un getto e mettendosi con ciò in movimento tutte le molecole della massa liquida contenuta nel recipiente. In questi movimenti, noi ci limiteremo ai vasi, nei quali, fatta qualunque sezione con piani verticali, risulti una linea interamente della stessa natura, come sarebbe nei vasi prismatici, piramidali, cilindrici, conici, che si chiamano per ciò *vasi continui*, perchè da cima a fondo si ha nella sezione la medesima linea.

Allorquando il vaso è aperto e non molto alto, la pressione dell'atmosfera si esercita, si può dire, egualmente tanto sulla superficie superiore del liquido che su quella corrispondente al foro; per cui le due pressioni si equilibrano e il liquido scola in virtù della propria gravità. Si ammette nell'idrodinamica l'ipotesi, d'altronde comprovata dall'esperienza, che il liquido uscente pel foro pone in movimento la massa contenuta nel vaso in modo che tutte le sezioni orizzontali si abbassano conservandosi fra loro parallele, e le molecole corrispondenti alla medesima sezione concepiscono l'eguale velocità verticale. Consiste in ciò l'*ipotesi del moto lineare* o del *parallelismo delle sezioni*, le quali nel discendere si modellano, in certa guisa, sulle sezioni del vaso per formare uno strato più sottile o più grosso,

(1) L'*idrometria* insegna l'applicazione in grande di quei principii e di quelle norme alle acque che scorrono sul suolo.

a norma che la sezione, per dove passano, è più larga o più ristretta. La velocità delle molecole liquide nel loro efflusso per l'orifizio si valuta appunto secondo quest'ipotesi, che si verifica ponendo sul livello dei piccoli pezzi di materia di densità presso che eguale a quella del liquido. Durante l'efflusso veggonsi questi minuzzoli discendere verticalmente e conservarsi in istrati fra loro paralleli. Se ne deduce quindi che le sezioni liquide, di cui essi fanno parte, discendono del pari parallelamente fra loro, ed ogni molecola conserva il medesimo moto lineare o, come si dice, si ha la *permanenza dei filetti liquidi* sino al momento in cui essi giungono in prossimità del foro d'uscita.

549. In un vaso, dove il livello del liquido è mantenuto costante, la legge dell'efflusso per un foro è determinata dal teorema di Torricelli; vale a dire *le molecole uscenti dall'orifizio prendono una velocità eguale a quella che acquisterebbero cadendo liberamente dall'altezza cui si trova il livello al disopra del centro dell'orifizio medesimo.* La verità di questo teorema si comprende dal riflettere che i liquidi devono seguire, nella loro caduta, la legge dei gravi, i quali acquistano una velocità debita all'altezza (§. 247). L'altezza poi nel caso dell'efflusso, è la distanza del livello dal centro dell'orifizio, e se nel vaso le molecole procedono senza moto sensibile, giungono però all'orifizio sotto la pressione del peso della colonnetta sovrincumbente, il quale è una forza motrice capace di elevare il getto uscente all'altezza del livello del liquido nel vaso (§. 512), e quindi a comunicargli la velocità debita all'altezza medesima. D'altronde vedremo quanto prima che il teorema è verificato dall'esperienza.

I gravi in generale acquistano tutti nella loro caduta eguale velocità qualunque sia la loro massa (§. 123); perciò anche i liquidi uscenti dai fori dei vasi debbono prendere una velocità dipendente soltanto dalla profondità dell'orifizio al disotto del livello e per nulla dalla natura del liquido. In tal modo il mercurio e l'acqua prendono l'eguale velocità, quando sgorgano da orifizii posti alla stessa profondità, quantunque il mercurio sia premuto da un peso molto più grande, e ciò per la ragione stessa che il filetto liquido, che immediatamente segue nel suo moto la molecola uscente, è dotato d'una maggior massa, la quale richiede proporzionalmente maggior forza ad essere mossa. Questa verità si verifica pure coll'esperienza ponendo a canto l'uno dell'altro due eguali vasi, l'uno pieno di mercurio e l'altro d'acqua allo stesso livello, e nei quali vi è praticato l'egual foro posto alla

medesima profondità, dove i liquidi sgorgano e i vasi si vuotano contemporanente.

Nel caso che alla sommità del liquido si esercitasse una pressione maggiore di quella che si oppone all'efflusso pel foro, quest'eccesso di pressione si riduce al peso equivalente d'una colonna del medesimo liquido, la cui altezza si aggiunge a quella del liquido sull'orifizio, e la velocità delle molecole dell'efflusso riesce eguale a quella che acquisterebbero cadendo dalla sommità di questa seconda colonna sovrincumbente alla prima. Al contrario se la pressione sulla superficie del foro fosse più grande di quella superiormente al liquido, bisogna detrarre l'altezza della seconda colonna da quella che ha il liquido nel vaso.

Dal teorema di Torricelli emerge immediatamente un'altra conseguenza: cioè che *le velocità dell'efflusso sono come le radici quadrate delle profondità dell'orifizio al disotto del livello*. Infatti chiamando a, a' queste profondità o altezze del liquido in due orifizii, le velocità corrispondenti saranno $x = \sqrt{2ga}$, $x' = \sqrt{2ga'}$ (§. 247), e quindi $x : x' :: \sqrt{a} : \sqrt{a'}$. Fatto quindi in un vaso un foro alla profondità di 64 centimetri ed un altro a quella di 4, le velocità del liquido uscente pei medesimi starebbero come 8 : 2, ossia come 4 : 1; vale a dire che la velocità sarebbe soltanto quadrupla quantunque l'altezza sia 16 volte più grande.

550. Osservando le disposizioni che prendono gli strati liquidi orizzontali quando nel discendere nel vaso sono giunti in prossimità dell'orifizio; si vedono pei minuzzoli di materia, di cui è cospersa la superficie del liquido (§. 548), i filetti liquidi inclinarsi gli uni cogli altri, incrociarsi fra loro e formare un conoide, che ha per base inferiore l'area della luce. Se l'orifizio è scolpito in lastra sottile, la vena fluida nell'uscire prende la forma egualmente d'un conoide, che ha per base maggiore l'area del foro e va restringendosi sino ad una certa distanza dal medesimo, dopo cui si divide e si sparpaglia per l'ostacolo dell'aria e per la gravità. Quest'assottigliamento del getto liquido, per una luce praticata in una parete sottile del vaso, è ciò che chiamasi *contrazione della vena* o *sezione contratta* del liquido. La sezione contratta è di circa 2/3 di quella dell'orifizio, o più prossimamente di 5/8. Michelotti la valuta di 0,62, Venturi di 0,63. Eitelwein di 0,64 e Bossut di 0,66. La differenza di contrazione dipende dal variare questa secondo la grandezza del foro, e risulta maggiore quanto più i fori sono ampii; valutando alcuni la contrazione della vena pei grandi orifizii sino a 0,56; e per le piccole pro-

fondità portandola il Frisi a 5/7=0,71. D'altronde i valori riportati si riferiscono ad esperimenti istituiti quasi tutti con fori circolari, e la contrazione della vena varia eziandio secondo la figura dell'orifizio. In ogni caso il rapporto prende la denominazione di *coefficiente di contrazione*.

Se il foro è fatto sul fondo AB orizzontale del vaso (fig. 175), allora il getto è verticale e la contrazione vedesi in *aa* che riesce minore del diametro *bb* dell'orifizio. Pel foro praticato nella parete laterale CD, verticale od inclinata all'orizzonte, il getto descrive una parabola (§. 386), e la contrazione della vena liquida succede pure ad una certa distanza dal foro, risultando egualmente *ee* minore di *ff*. La distanza della contrazione dalla faccia interna della parete è in generale un poco più grande del raggio dell'orifizio, quando questo è piccolo; ma per le grandi aperture sembra che il luogo di contrazione sia più distante.

551. Ora siamo in grado di verificare coll'esperienza il teorema di Torricelli su annunziato (§. 549). A tal fine un vaso è mantenuto costantemente pieno d'acqua, e ad una sua parete si adatta una lastra sottile, che abbia scolpito un orifizio di conosciuta grandezza, per esempio d'un centimetro quadrato, si misura l'altezza del liquido al disopra del centro dell'orifizio medesimo. Si osserva poscia la quantità di liquido erogato durante un tempo esattamente determinato. Questa quantità essendo valutata e conosciuta in litri o decimetri cubici, è facile di dedurne il numero n di litri, che sono usciti in 1" di tempo. Allora si può considerare questo volume come un cilindro, che è passato per l'orifizio o per la sezione contratta quasi nella stessa maniera d'un filo che passa pel pertugio della filiera, e la cui base è per conseguenza la superficie b della vena contratta, mentre la lunghezza è lo spazio percorso in 1", vale a dire la velocità v dell'efflusso. Da ciò si deduce $bv=n$, e quindi $v=\frac{n}{q}$. È questa la velocità sperimentale ed effettiva. D'altra parte la velocità teorica pel teorema di Torricelli si sa che è $v=\sqrt{2ga}$, essendo a l'altezza del livello sul centro dell'orifizio (§. 247). Risultando la velocità sperimentata $\frac{n}{b}$ eguale a quella calcolata $\sqrt{2ga}$ secondo il teorema, si ha la giustezza della legge di Torricelli, come mostra l'esperienza. In questa sorta di prove s'incontra è vero qualche lieve differenza in più o in meno, ma essa dipende principalmente dalla difficoltà di prendere la misura esatta del diametro della vena contratta.

Digitized by Google

Per istituire somiglianti sperienze si usa nelle scuole un vaso prismatico dell'altezza di circa un metro ed a base quadrata di due decimetri di lato. Ad una delle pareti si adattano lastre sottili con orifizi più o meno grandi ed a differenti distanze dal livello del liquido. Con tale *apparato pel moto dei liquidi* s'istituiscono eziandio le sperienze per dimostrare alcune leggi, che sono più avanti dichiarate. Giova però osservare che l'attrito e l'adesione della vena fluida contro l'orlo dell'orifizio, come pure la coesione del liquido e la resistenza opposta dall'aria al getto, possono produrre qualche lieve discordanza fra i risultati teorici e quegli sperimentali. Inoltre la legge di Torricelli sussiste, senza manifestazione di differenza sensibile, quando l'area dell'orifizio non oltrepassi $^1/_{20}$ della sezione del vaso; giacchè nei grandi orifizi viene la legge alterata per diverse circostanze.

552. Si dica a l'altezza costante dell'acqua sull'orifizio, la cui area sia b e t il tempo dell'efflusso. Il volume di liquido uscente dal vaso, nell'unità di tempo, p. e. d'un secondo, eguaglia il prodotto dell'area b per la linea, che rappresenta la velocità v dell'afflusso, il quale volume moltiplicato per t darà la quantità d'acqua erogata in tal tempo. Sarà quindi la quantità $q=btv$. Ora la velocità v è quella debita all'altezza a, ossia $v=\sqrt{2ga}$; per cui, sostituendo, risulta $q=bt\sqrt{2ga}$. Nel caso poi della contrazione della vena, la quantità d'acqua erogata nel tempo t si riduce a $q={}^5/_8 bt\sqrt{2ga}$.

Si potranno dare tre delle quattro quantità q, b, t, a e rinvenire la quarta, osservando se il valore, ottenuto dall'equazione, eguaglia quello che somministra l'esperienza. Inoltre, chiamando con x il coefficiente di contrazione, si ha $q=xbt\sqrt{2ga}$, da cui $x=\frac{b}{bt\sqrt{2ga}}$.

Esperimentando quindi la quantità q d'acqua erogata in un tempo t, per un foro b alla data altezza a, si potrà calcolare colla formola il valore di x della contrazione della vena, per vedere se esso si accorda colla misura direttamente presa.

553. Denominando con B l'area d'altro foro posto alla profondità A, pel quale sgorga l'acqua durante il tempo T, si ha la corrispondente erogazione $Q={}^5/_8 BT\sqrt{2gA}$. Da questa e dalla precedente equazione si ha la proporzione $Q : q :: BT\sqrt{A} : bt\sqrt{a}$: cioè *le quantità d'acqua erogata sono in ragione composta diretta delle aree degli orifizii, dei tempi dell'efflusso e delle radici quadrate delle altezze del liquido.* Che se i fori siano circolari ed abbiano i diametri D, d, le loro aree stanno come i quadrati di questi diametri, e per ciò sarà

$Q : q :: D^2T\sqrt{A} :: d^2t\sqrt{a}$; ed essendo le altezze ed i tempi eguali risulta $Q : q :: D^2 : d^2$: cioè *le erogazioni seguono la ragione dei quadrati dei diametri degli orifizii.*

Si potranno in tal maniera dedurre altre proporzioni nelle diverse circostanze e calcolare la quantità d'acqua erogata per un nuovo orifizio in un tempo e ad un'altezza data, conoscendosi la quantità che esce per un noto orifizio di cui gli altri elementi sono del pari noti. Se $Q=q$ ed $A=a$, risulta $BT=bt$, e quindi $T : t :: b : B$: cioè *i tempi dell'efflusso per due orifizii posti ad eguale profondità, sono in ragion inversa degli orifizii medesimi per avere eguali erogazioni di liquido.*

554. Dall'equazione superiore, che dà la quantità d'acqua erogata in un dato tempo pel foro praticato nella parete d'un vaso, non si ha la portata d'una bocca rettangolare d'irrigazione, nella quale, per la sua grandezza, tutti i filetti liquidi non si possono considerare dotati dell'egual velocità. Imperocchè, per la legge torricelliana, quelli posti a maggior profondità devono possedere una velocità più grande degli altri situati ad una minore (§. 549). Se quindi la velocità della molecola liquida uscente pel punto inferiore *b* si esprime colla retta *bc* (fig. 176) e quella uscente pel punto *e* colla retta *ef*, queste velocità saranno proporzionali alle radici quadrate delle altezze *db*, *de*, (§. 549), e la serie delle estremità delle rette, esprimenti le diverse velocità nei punti dell'apertura *db*, differentemente elevati, formeranno la curva *dfe*, le cui ordinate *bc*, *ef* sono come le radici quadrate delle altezze o ascisse *db*, *de*, ed è quindi una parabola. La somma poi di tutte queste velocità è espressa dall'area della parabola costruita sull'altezza *db* della bocca. Siccome poi per la geometria l'area della superficie parabolica è equivalente ai $\frac{2}{3}bc \times db$; così, dividendo questo prodotto per *db*, si avrà il quoziente $\frac{2}{3}bc$ per la media delle velocità *bc*, *ef* ecc., che compongono la superficie parabolica medesima. Dunque *la velocità media d'una bocca rettangolare d'irrigazione è rappresentata dai due terzi della massima ordinata della parabola esprimente la scala delle velocità delle molecole del getto a differenti altezze.* L'altezza media, alla cui radice è proporzionale la velocità media $\frac{2}{3}bc$, sarà $\frac{4}{9}a$, essendo *a* l'altezza totale, e per ciò la media velocità risulta espressa da $\sqrt{2g}.\ \frac{4}{9}a = \frac{2}{3}\sqrt{2ga}$.

La formola superiore (§552) $q=bt\sqrt{2ga}$ si riduce quindi per la portata della bocca d'irrigazione rettangolare, alla $q=\frac{2}{3}bt\sqrt{2ga}$; e nel caso della contrazione della vena diventa $q=\frac{5}{8}\cdot\frac{2}{3}bt\sqrt{2ga}$.

Se l'acqua è elevata in g (fig. 176) al disopra dell'orlo della luce d'irrigazione, essa costituisce colla massa sovrastante un peso, che influisce sull'erogazione e che appellasi *battente* della bocca. L'altezza media in tali casi differisce così poco, dalla distanza dell'acqua al centro di gravità della luce, che quest'ultima si prende nella pratica per l'assissa della parabola, che dà la scala delle velocità dei filetti liquidi uscenti per la luce medesima.

Dai canali costrutti con ingenti spese per l'irrigazione, l'acqua si vende e si distribuisce ad unità di misura formata da una bocca di dimensioni determinate, che variano secondo i diversi paesi: questa unità chiamasi *oncia d'acqua*, *pollice* o *piede d'acqua* ecc. Per ripartire l'acqua fra diverse bocche d'irrigazione è necessario ch'esse siano costrutte in modo, da dare delle portate proporzionali al numero delle unità di misura di ciascuna bocca. Siccome il livello dell'acqua nel canale è variabile, per cui varierebbe del pari il battente, così nella costruzione delle bocche importa di far in modo che rimanga permanente il battente. Fra le costruzioni che meglio soddisfano a tale condizione, sono le *chiaviche* per cui viene diramata l'acqua dai navigli della Lombardia, dove l'unità di misura è una luce rettangolare della larghezza di 3 once, dell'altezza di 4 sotto il battente di 2 oncie del braccio di Milano (1).

555. Si abbia un vaso prismatico o cilindrico verticale pieno di acqua, che per l'efflusso si vuota, e sia f la sua sezione orizzontale ed a l'altezza dell'acqua medesima: il volume del liquido risulterà fa. Indicando con t il tempo necessario per uscire nell'efflusso tutto il volume d'acqua fa e rimaner vuoto il vaso; si ha che nell'egual tempo uscirebbe la quantità doppia $2fa$ di liquido, quando il vaso fosse mantenuto costantemente pieno, perchè in tal caso la velocità dell'efflusso riesce costante ed ogni molecola liquida uscente dall'orifizio con velocità debita all'altezza a percorre nel medesimo tempo lo spazio $2a$ (§. 246). Ma la quantità d'acqua sgorgata nel tempo t del caso del vaso tenuto costantemente pieno è anche rappresentata

(1) Si vegga la *Memoria sulle pratiche usate in Italia per la dispensa delle acque*, di Brunacci. Verona 1814. premiata dalla *Società italiana delle scienze*.

da $bt\sqrt{2ga}$, dove b è l'area dell'orifizio, per ciò sarà $2fa=bt\sqrt{2ga}$, e quindi pel tempo che impiega a vuotarsi $t=\frac{2fa}{b\sqrt{2ga}}$, ossia $t=\frac{2f\sqrt{a}}{b\sqrt{2g}}$

Supponiamo che nel tempo t il liquido siasi abbassato col livello alla profondità x, allora il tempo restante all'intero vuotamento sarà $t-\theta$ e l'altezza $a-x$. L'equazione precedente, essendo generale, dovrà verificarsi anche pel tempo $t-\theta$ e per l'altezza $a-x$, e perciò diventerà $t-\theta=\frac{2f}{b\sqrt{2g}}.\sqrt{(a-x)}$. Ponendo in quest'equazione invece di t il valore dato dalla precedente equazione, si ha

$\frac{2f\sqrt{a}}{b\sqrt{2g}}-\theta=\frac{2f}{b\sqrt{2g}}.\sqrt{(a-x)}$, donde si deduce

$$\theta=\frac{2f}{b\sqrt{2g}}\left\{\sqrt{a}-\sqrt{(a-x)}\right\}.$$

Quest'ultima equazione somministra la maniera di costruire la *clessidra* o orologio ad acqua con un vaso cilindrico o prismatico, che per un orifizio vada successivamente vuotandosi del fluido in esso contenuto. Il problema si riduce *a dividere l'altezza totale del liquido nel vaso in 12 parti tali che dal livello del liquido, abbassandosi, siano percorse in tempi eguali.* Dunque nel variare x, cioè nell'abbassarsi del liquido, il tempo θ deve rimanere costante. E siccome il valore di θ è composto di due fattori, nell'uno dei quali entra x; così rimanendo l'altro sempre il medesimo bisogna che quello contenente l'x sia eguale all'unità, cioè $\sqrt{a}-\sqrt{(a-x)}=1$; da cui si ricava $\frac{(x+1)^2}{4}=a$. Dovendo l'altezza totale a essere divisa in 12 parti tali che siano percorse nell'egual tempo, e dovendo altresì essere a un quadrato perfetto, perchè estraendo la radice risulti la x un numero intero; per ciò dividiamo a in 144 parti eguali. In questo caso sarà $\frac{x+1}{2}=12$, da cui $x=23$. La prima indicazione delle ore dovrà dunque essere scolpita all'altezza di $144-23=121$. Poniamo ora quest'ultimo numero nell'equazione, e sarà $\frac{(x+1)^2}{4}=121$, donde $x=21$. La seconda indicazione si segnerà perciò all'altezza di $121-21=100$. Sostituiamo ad a questo ultimo valore e risulterà $\frac{(x+1)^2}{4}=100$, e per conseguenza $x=19$.

La terza indicazione delle ore sarà notata all'altezza 100—19=81. Progredendo in tal maniera si trova che la quart'ora sarà indicata all'altezza di 64 parti di *a*; la quinta all'altezza di 49, la sesta di 36, la settima di 25, l'ottava di 16, la nona di 9, la decima di 4, l'undecima di 1, e la dodicesima di 0. Durante quest'ultima ora la clessidrà si vuoterà d'acqua interamente, cioè il liquido dall'altezza 1 nel vaso superiore passerà interamente nel vaso sottoposto.

556. La clessidra era molto in uso presso gli antichi, che non conoscevan gli orologi attualmente da noi posseduti e portati eziandio ad una grande perfezione. La clessidra di Ctesibio è forse uno degli ordigni i più ingegnosi, che siano stati costrutti in tal genere. L'acqua esciva a foggia di lagrime dagli occhi d'una figura, la quale sembrava pagare questo tributo di rammarico agli istanti del tempo che fuggivano. Quest'acqua passava in un serbatoio verticale, ove innalzava un'altra figura, che con una bacchetta e la sua ascensione graduale indicava le ore sopra una colonna. Lo stesso fluido serviva poscia di motore nell'interno d'un piedestallo ad un congegno che in un anno faceva fare alla colonna una rivoluzione intorno al suo asse; talchè il mese e il giorno si trovavano sempre sotto l'indice, la cui estremità percorreva una verticale convenientemente divisa.

Si usavano anche gli *orologi a sabbia* sostituendo all'acqua dell'arena finissima. In questi orologi gli spazi dell'altezza verticale per indicare le ore riuscirebbero eguali; e la velocità dell'efflusso sarebbe uniforme, come sembra risultare dalle sperienze fatte a Ginevra da Huber-Burnand. Egli ha trovato che la quantità di sabbia, che cade in un tempo dato per un'apertura parimenti data, riesce eguale in volume ed in peso qualunque sia l'altezza della sabbia nel vaso. Quando le differenze d'altezza sono state decuple l'una dall'altra, i risultati furono sempre perfettamente simili. Questi risultati mostrano come le leggi dell'idromecanica possono essere alterate dalla coesione e dall'attrito su se medesime delle molecole liquide, le quali nello stabilire quelle leggi si suppongono le une dalle altre indipendenti e libere (§. 504).

557. Ai fori praticati nei vasi si adattano spesso *tubi addizionali* di forma cilindrica, conica o d'altra differente, pei quali si fa l'efflusso. Interessa di esaminare se coll'aggiunta di questi piccoli canali si altera la velocità dell'efflusso e quindi la quantità d'acqua erogata in un dato tempo.

Il più semplice tubo addizionale è quello che ha la forma della vena dell'orifizio sino alla contrazione. Quando esso è ben costrutto

secondo quella forma, ed ha la superficie ben pulita, non esercita veruna influenza sulla quantità d'acqua erogata. Coi tubi addizionali cilindrici, dello stesso diametro dell'orifizio scolpito in parete sottile cui si applicano, ora la vena fluida resta libera e passa nel tubo addizionale senza aderirvi, ed ora vi aderisce facendosi l'*efflusso a pieno tubo*. Nel primo caso il tubo aggiunto non ha veruna influenza nè sulla velocità, nè sulla quantità d'acqua erogata, non variando la forma del getto e non avendo con esso aderenza; nel secondo invece la contrazione viene rotta, il getto diventa per tutto d'egual diametro, e quindi si disturba il contrasto dei filetti incrociati per cui la velocità e la portata aumentano. Le quantità d'acqua sgorgate nel primo e secondo caso stanno nel rapporto di 100 : 133; purchè il dismetro del tubo addizionale sia all'incirca il quarto della sua lunghezza. Sotto piccole pressioni la vena fluida si modella sempre al tubo addizionale, ben anche quando è molto corto; mentre nelle grandi pressioni la vena rimane libera.

I tubi addizionali conici danno delle erogazioni ancor più grandi di quelli cilindrici, e tanto più quando internamente ed esternamente si dilatano sotto forma divergente. Egli è per ciò che un foro, praticato in una parete concava nell'interno, dà una maggior portata di quando è fatto in una parete piana, e se la parete è convessa la portata riesce minore. I tubi convergenti esternamente diminuiscono la quantità d'acqua erogata e quidi la velocità, in causa delle riflessioni, dei rivolgimenti, degli urti che succedono nelle molecole liquide sollecitate da movimenti opposti.

558. Le acque condotte per lunghi tubi incontrano una resistenza contro le pareti dei tubi medesimi, la quale ne diminuisce la velocità e per conseguenza la portata. Si sono istituite alcune sperienze, all'appoggio delle quali e di alcuni principii teorici si è cercato di esprimere con una formola la velocità. Quella data da Prony, che può servire nei casi più usuali, è la seguente : $v=26,79\sqrt{\frac{DA}{L}}$, dove D è il diametro del tubo, L la lunghezza ed A l'altezza del livello dell'acqua della conserva al disopra dell'estremità del tubo per cui si fa lo scolo. La condotta succede per tubi di ferro ottenuti colla fusione, e v rappresenta la velocità dello sbocco dell'acqua o lungo tutto il tubo, il che è lo stesso, giacchè esso ha dappertutto l'egual diametro. L'unità di misura è il metro, e la formola vale nel caso che il rapporto D/L non superi $\frac{1}{100}$; vale a dire che la lunghezza del tubo sia almeno 100 volte il suo diametro.

Digitized by Google

Si è cercato eziandio di determinare il diametro D da darsi al tubo per avere M metri cubici d'acqua per ogni minuto secondo, conosciuta la lunghezza L del tubo e l'altezza A del serbatoio. La formola a tale scopo è $D=0;1863 \sqrt[5]{\frac{LM^2}{A}}$.

Pei tubi di piccolissimo diametro si hanno alcune recenti sperienze, oltre quelle già fatte prima da altri fisici. La formola è differente da quella superiormente riportata (1). In generale importa di notare che pei tubi, formati di materia che si bagna del liquido, l'efflusso, a pari circostanze, succede egualmente tanto che siano internamente lisci quanto a superficie scabra (§. 85).

Un liquido, che trascorre per un tubo, esercita sempre sulle pareti di questo una pressione minore di quando è stagnante nel medesimo. Anzi in certi casi, invece di esservi pressione dall'interno all'esterno, vi ha al contrario una pressione esteriore prevalente sull'interiore. Tale deduzione dell'analisi del fenomeno, fatta da Bernoulli, è stata confermata dalle sperienze di Venturi.

559. L'acqua da serbatoi o da conserve viene spesso condotta per tubi in luoghi più bassi, dove sbocca fuori da piccoli pertugi sotto forma di *zampillo*, come è delle fontane. L'altezza dello zampillo dovrebbe essere, secondo le dottrine spiegate, eguale a quella, cui si trova nel serbatoio; ma ciò non succede mai in causa della resistenza del tubo e dell'aria, attraverso cui si muove lo zampillo. Se il foro è fatto superiormente ad una parete orizzontale, lo zampillo è verticale; se è fatto in pareti diversamente inclinate il getto descrive delle curve paraboliche di differente ampiezza secondo il grado d'inclinazione (§. 389). In generale, a pari circostanze, gli zampilli verticali sono meno alti di quelli obliqui, per la ragione che in quelli le molecole liquide, uscite per le prime, ricadono sulle seguenti e ne diminuiscono la velocità, il che non succede nei getti obliqui.

Per avere una relazione semplice fra l'altezza della conserva, e quella dello zampillo, diremo che Mariotte dall'esperienze ha dedotto che, per 5 piedi d'altezza dello zampillo, la conserva, si eleva di 5 piedi ed 1 pollice, e che in generale, per avere l'altezza della conserva, bisogna all'altezza *a* del getto, valutata in piedi, aggiungere tanti pollici quante unità si trovano nel quadrato di *a*/5.

(1) Vedi gli *Annali di fisica* ecc., più volte citati, tom. X, pag. 120, dove trovasi le formole per valutare in tal caso la portata dei tubi di condotta, in cui v'entra la temperatura, che esercita un'influenza sensibile sui risultamenti.

Digitized by Google

Per tal modo un getto di 15 piedi o di metri 4,87 pel getto si richiederà una conserva elevata di 15 piedi più 9 pollici, o metri 5,12. Denominando quindi con a l'altezza dello zampillo, quella della conserva sarà $c=a+\frac{a^2}{300}$, dove l'unità di misura è il piede. Volendo una formola pel metro, bisogna trovare il divisore costante per questa unità di misura, il che si ottiene facilmente colle note operazioni algebriche, avendosi $c=a+\frac{a^2}{94,87}$. Si potrà anche esprimere a per c, e così data l'altezza della conserva determinare quella del getto.

560. Il moto dell'acqua per gli alvei dei canali, dei fiumi e dei torrenti incontra parecchie resistenze, da cui viene alterato, e non si può valutare coi principii teorici dichiarati. Si ricorre quindi in tali casi all'esperienza servendosi di alcuni strumenti a tal uopo inventati per determinare la velocità per gli alvei. Spetta alla scienza idraulica di far conoscere questi strumenti: noi ci limiteremo a riportare la formola di Eytelwein, colla quale si ottiene la velocità per gli alvei; formola che è stata posta alla prova da alcuni ingegneri italiani nel Po al disotto di Ferrara (1). Ecco la formola in discorso dalla quale si ha la velocità u richiesta:

$$u=-0,00338375g+\sqrt{(0,00001145g^2+278,899Dg.\cos.\varphi)}:$$

dove g è la gravità; D il raggio medio, cioè l'area della sezione per dove passa l'acqua divisa pel suo contorno; φ l'angolo d'inclinazione dell'alveo colla verticale, che si ottiene per mezzo della livellazione.

561. Il moto dei liquidi non è soltanto progressivo, come nei casi precedentemente considerati; ma esso può essere anche *ondulatorio*. La figura, la grandezza e la velocità delle onde hanno prestato argomento alle indagini matematiche le più profonde e le più difficili, tanto più che lo studio di esse riesce di grande interesse per l'analogia che si riscontra coi fenomeni della propagazione del suono nell'aria e del fluido luminoso nello spazio. Senza entrare nel campo riservato all'analisi geometrica, faremo conoscere come nasce questo moto dei liquidi, e daremo le nozioni elementari intorno al medesimo, che possono servire all'intelligenza dei fenomeni.

Sia *ab* la superficie d'un'acqua tranquilla (fig. 177), la quale, secondo i principii dell'idrostatica, sarà disposta orizzontalmente. La-

(1) Si vegga l'opera: *Ricerche geometriche ed idrometriche fatte nella scuola degli ingegneri pontificii l'anno* 1822. Milano 1822, pag. 17.

sciando cadere su di essa una pietra od esercitando una pressione sopra una parte qualunque *mn*, il liquido viene rimosso dal suo posto, e si forma una cavità *mdn* più o meno profonda secondo l'energia della forza. Mentre l'acqua è dislocata da quella cavità, deve, per la sua incompressibilità. elevarsi necessariamente all'intorno, dando luogo alla prominenza *mfr* e dal lato opposto alla *ngs*. L'acqua così elevata, non potendosi sostenere, precipita da quell'altezza sulla parte sottoposta *mer*, in virtù della velocità acquistata nella sua caduta, forma una cavità corrispondente alla prominenza *mfr*. Le parti elevate nel secondo movimento ne fanno nascere un terzo consimile, e così un quarto ecc., e in tal maniera il moto progredisce andando sempre più diminuendo, sinchè ad una certa distanza si estingue del tutto. Dal punto dell'origine sino al termine del moto si formano per ogni verso altrettante curve, che alternativamente sono depresse e sporgenti sopra la orizzontale *ab*; le quali curve, per la gravità dell'acqua, alternano nelle prominenze e nelle cavità con oscillazioni successive, che per le resistenze diminuiscono sempre in amplezza e infine scompariscono del tutto, ritornando il liquido allo stato primitivo di quiete come succede nelle oscillazioni del pendolo.

In ogni ondulazione si distinguono, relativamente all'orizzontale *ab*, la porzione elevata *mfr* e la depressa *rpq*: la prima chiamasi *parte ascendente* e la seconda *discendente*. Allorquando il moto ondulatorio prosegue nella direzione *ca*, è *mf il lato posteriore* della parte ascendenle ed *fr l'anteriore*; laddove *rp* risulta *il lato posteriore* e *pq il lato anteriore* della parte disceudente. Le due parti, ascendente e discendente, costituiscono l'intera *onda*, di cui i punti *m*, *q* sono i termini estremi. Il punto culminante *f* della parte ascendente costituisce l'*elevazione* dell'onda, e il punto infimo *p* della discendente la sua *profondità*. La somma poi delle due verticali *ef*, *ph* dà l'*altezza* dell'onda intera. Essendo *mr* l'ampiezza della parte ascendente ed *rq* di quella discendente, la somma *mq* risulta l'*ampiezza* dell'onda intera. Le due curve dell'onda intera scorrono l'una sull'altra reciprocamente; ma la curva della prima porzione non corrisponde mai a quella dell'altra; nè molto meno il lato anteriore della parte ascendente assomiglia al lato posteriore; come si osserva eccitando nel mercurio, contenuto in un vaso, un moto ondulatorio, ed immergendo, parallelamente alla direzione del moto dell'onda, una lastra d'ardesia cosparsa di farina, le cui molecole sono levate nei siti dove giunge il mercurio, il quale vi lascia così la figura presa dall'onda in ogni sua parte. Le onde s'internano sino ad una certa profondità, come si

Digitized by Google

scorge dall'intorbidamento dell'acqua, giacente sopra un fondo limacioso, quando è agitata con moto ondulatorio.

L'acqua rinchiusa in tubo ricurvo ACB con rami eguali (fig. 161), sappiamo che si mette dall'una e dall'altra parte allo stesso livello, ma se si disturba lo stato d'equilibrio obbligando il liquido ad elevarsi in un ramo, abbandonato poscia alla gravità fa delle oscillazioni nel tubo, le quali, se non vi fossero le resistenze dell'aria e dell'adesione, dovrebbero continuare indefinitamente, come quelle del pendolo (§. 393). Il tempo, impiegato in un'oscillazione discendendo in un ramo ed ascendendo nell'altro, eguaglia quello dell'oscillazione opposta per risalire allo stesso punto. Le oscillazioni sono isocrone per piccole ampiezze come quelle d'un pendolo per archi piccolissimi; e la massima velocità si ha quando, nel compiere un'oscillazione, l'acqua si trova alla metà del suo cammino. Essendo il tubo di diametro uniforme in tutta la sua lunghezza ed i rami verticali, il pendolo di lunghezza eguale alla metà di tutta la colonna in movimento fa delle oscillazioni sincrone con quelle dell'acqua nel tubo. Non tenendo conto dell'attrito, le oscillazioni d'una colonna d'acqua, che occupasse nel tubo la lunghezza di poco meno di due metri, riuscirebbero della durata d'un secondo di tempo; giacchè sappiamo che il pendolo a secondi ha per lunghezza quasi un metro (§. 397). Queste deduzioni ricavate col calcolo pel moto oscillatorio del liquido nel tubo, ci danno un'idea del moto ondulatorio somigliante dell'acqua contenuta nei grandi bacini.

562. Il punto, dove l'acqua prova l'azione della forza, diventa in tal maniera il centro d'una serie di onde, che si propagano all'intorno di esso e vanno sempre più diminuendo in altezza a misura che si allontanano. Inoltre le onde, che si ripetono, diminuiscono del pari in altezza; talchè in breve tempo non vi ha più nel luogo d'origine la più lieve agitazione. Se invece d'una sola pietra o d'una sola forza, se ne lanciano parecchie ad un tratto sul livello dell'acqua stagnante; ciascun punto percosso diventa il centro, donde emanano serie circolari d'onde che si estendono all'intorno, si toccano e s'incrociano senza deformarsi mutuamente nè disturbare il loro progresso rispettivo. Questo fenomeno si osserva sopra una piccola scala durante le ore di calma dell'estate, allorchè piccoli insetti si slanciano sulla superficie delle acque stagnanti. Ciò avviene perchè ad un moto ondulatorio ne succede tosto un altro proveniente dal centro, dove ha avuto origine, e l'ondulazione successiva ristabilisce quasi nello stesso tempo quella precedente; per cui ciascuna serie procede avanti

collo stesso ordine. Se le onde incontrano degli ostacoli nel loro moto, come scogli, muri, ecc.; esse si riflettono, diventando quei punti origine d'una nuova serie d'onde dirette in contrario verso.

563. La superficie d'un liquido è così perfettamente livellata, è così cedevole a tutte le cause perturbatrici, che gli effetti si trasmettono a distanze molto considerabili. Un battello a remi, che attraversa un lago tranquillo, ne increspa la superficie per una grande estensione; e quantunque le ondulazioni, progredendo, finiscano ben presto per divenire impercettibili, si riconosce però quanto si siano estese dal rumore prodotto pel piccolo movimento, che il loro sviluppo sino alla riva fa provare alle sabbie ed alle pietre che vi si trovano accumulate. Il rumore, che i marinai sentono sulle coste per queste ondulazioni impercettibili all'occhio, è un indizio certo della tempesta che imperversa da lungi. Ho letto di viaggiatori nell'Oceano orientale, che furono meravigliati della lunghezza straordinaria di ondulazioni, che scorrevano sul mare durante una perfetta calma, la cui superficie presentava l'apparenza d'enormi masse di piombo fuso. Appresero poscia che nello stesso tempo alcuni vascelli della Compagnia delle Indie erano naufragati a circa 200 chilometri di distanza al nord-est dal luogo ove essi si trovavano col loro naviglio.

564. La causa più comune delle onde è lo sfregamento del vento sulla superficie dell'acqua; giacchè anche i fluidi, che non abbiano fra loro affinità, provano la resistenza d'attrito come i solidi ed è prodotto nell'egual modo (§. 489). Si formano dapprima alcune increspature sulla superficie dell'acqua, poscia il vento, per la sua continua azione, ne altera maggiormente il livello, e vi forma infine delle cavità e delle prominenze, e quindi le onde che si elevano e si abbassano e si estendono a distanze più o meno grandi. Se il mare è libero, l'azione del vento può esercitarsi sopra un grande spazio, e le ondulazioni acquistano una grande estensione nel verso longitudinale; il che dà loro l'apparenza di montagne mobili. La baia di Biscaglia e meglio ancora il vasto mare che si distende fra le punte meridionali dell'Africa e dell'America, offrono degli esempi manifesti di quest'ultimo caso; mentre i mari equatoriali, che sono difesi dai venti pei continenti e per le isole, e quelli polari per enormi masse di ghiaccio, offrono il caso contrario della tranquillità delle loro acque.

Si sa che uno strato d'olio, versato sulla superficie delle acque stagnanti, ne impedisce l'agitazione prodotta dal vento, e quindi il moto ondulatorio. Questo fatto è conosciuto da lungo tempo, ed al-

Digitized by Google

cuni l'hanno posto in dubbio. Pochi anni sono è stato soggetto di nuove discussioni e di sperimenti istituiti appositamente in Olanda. Alcuni riuscirono, altri di questi sperimenti fallirono. Secondo noi bisogna ben distinguere la proprietà che può avere l'olio d'*impedire* da quella di *calmare le onde*. Della prima troviamo la ragione, e quindi la crediamo; intorno alla seconda abbiamo dei dubbii. Infatti si è detto che gli olii e le sostanze grasse diminuiscono sensibilmente l'attrito radente fra i solidi (§. 496); bisogna quindi che producano l'egual effetto eziandio fra i fluidi. Quando dunque la superficie delle acque è coperta d'uno strato anche sottilissimo d'olio, lo sfregamento dell'aria in moto o del vento contro la superficie liquida è molto diminuito, per cui questa non può essere agitata e posta in movimento ondulatorio. Ma se le onde sono già formate, allora la causa delle onde risiede in parte nella gravità dell'acqua medesima e il vento non fa altro che mantenerle; e non potendo l'olio diffondersi equabilmente sulla superficie agitata, non giunge ad impedire l'azione del vento per mantenere le onde stesse. Ecco, secondo noi la ragione per cui alcune sperienze non diedero risultati corrispondenti. Se l'olio è versato sulla superficie dell'acqua dalla parte ove giunge il vento ed ove incomincia ad incresparsi, la superficie si manterrà tranquilla. È forse in questo caso che dei navigatori, accorgendosi del vento e delle onde che venivano da un lato, hanno potuto da un altro lato giungere a terra senza pericolo, in virtù dell'idea ch'ebbe l'equipaggio di versare delle tonnellate d'olio all'intorno del vascello.

565. La velocità del moto ondulatorio si aumenta colla grandezza delle onde. Le grandiose ondate del mare agitato dalla tempesta si propagano con una velocità, che è stata valutata di 45 in 50 chilometri all'ora. Questi terribili cavalloni hanno talvolta sino l'altezza di tre e più metri sul livello ordinario del liquido. Siccome la parte ascendente è presso a poco eguale a quella discendente dell'onda; così bisogna contare sei e più metri per l'altezza totale della medesima.

Il volgo crede che l'acqua stessa proceda in avanti con moto progressivo e colla velocità delle onde: ma realmente è soltanto la *forma* che cammina e non la *materia*. L'onda s'innalza e si abbassa costantemente su se medesima senza cambiare di luogo, e ciò colla regolarità d'un pendolo. Si può avere un'idea chiara del moto ondulatorio dell'acqua, osservando quello impresso ad una fune orizzontale, attaccata per un'estremità ad un punto fisso e scossa per l'altra colla

Digitized by Google

mano. La prima ondulazione si trasmette ben presto dall'estremità tenuta colla mano a quella attaccata al punto fisso; e ciò, come ognuno sa, senza verun moto progressivo delle parti della fune. Sul palco scenico nelle rappresentazioni teatrali s'imitano le onde del mare con lunghe bande di tessuti, ai quali s'imprime il moto come nella fune.

566. Dopo aver parlato del moto dei liquidi e delle leggi ch'esso segue nelle diverse circostanze, facciamo conoscere le principali machine imaginate dall'industria dell'uomo per elevarli ed introdurli in luoghi a profitto delle arti e della società.

Primieramente diremo che chiamasi *valvola* quel qualunque congegno applicato ad un foro o pertugio qualunque, che, mentre impedisce il passaggio d'un fluido in un verso, lo permette nel verso opposto. Le valvole sono di diverse specie: la *valvola a cono* A; la *valvola ad animella* B; la *valvola a ventola* C; la *valvola a linguetta* D (fig. 178 e 179). Dall'ispezione stessa della figura si comprende come è costrutta la valvola a cono A, la quale talvolta è tenuta chiusa col peso P; che preme sul congegno mediante una leva di secondo genere (fig. 178). Egualmente si comprendono le valvole ad animella B ed a ventola C (fig. 179). Giungendo il fluido da un verso spinge la valvola, la solleva e passa pel foro; dal verso opposto la preme e la chiude maggiormente. Lo stesso è della valvola a cono (fig. 178). In generale le valvole chiudono l'adito gravitando sulle pareti laterali del pertugio pel loro peso. Ma se dovessero essere disposte al disotto, in maniera che per chiudersi agissero in opposizione alla gravità, allora si tengono aderenti al foro con una molletta spirale o d'altra forma. La linguetta D (fig. 179) consiste in una lista di taffetà ben gommato, che si applica sopra l'orifizio praticato nel centro di un disco, all'intorno della cui periferia è legata. Giungendo il fluido sul disco della parte al disotto della valvola innalza la lista di taffetà e si fa strada lateralmente per introdursi superiormente alla valvola; dalla parte opposta non può che premerla e farla aderire maggiormente al disco, impedendo così il passaggio del fluido. La freccia indica la direzione, per cui tutte queste valvole si aprono.

567. Le machine più semplici per muovere i liquidi sono la *siringa* e la *canna idraulica*.—La *siringa semplice* si compone d'un cilindro cavo AB di metallo o di vetro (fig. 180) ben calibrato, che chiamasi *corpo della siringa*; e di una specie di tappo *a* detto *stantuffo*, avviluppato di materie cedevoli ed elastiche, in modo che combaci esattamente col corpo della siringa. Lo stantuffo è saldamente assicu-

rato pel suo centro ad una verghetta denominata *stelo* munita d'un manubrio *m*. L'estremità A del cilindro è chiusa da una lamina metallica unita a vite al corpo e fornita nel suo centro d'un foro, in cui può moversi facilmente lo stelo dello stantuffo. L'estremità opposta B è chiusa egualmente e porta nel suo centro un tubetto *b* chiamato il *cannello* della siringa. Immergendo il cannello nell'acqua o in qualunque altro liquido, e colla mano applicata al manubrio *m* sollevando lo stantuffo, questo lascia dietro di sè un vuoto ed obbliga l'acqua, per la pressione esterna dell'atmosfera (§. 139), ad entrare pel cannello nel corpo della siringa e ad empirlo per tutto quello spazio abbandonato dallo stantuffo. In tal modo la siringa si carica d'acqua, che si può lanciare con un getto continuo, a distanze più o meno grandi comprimendo lo stelo ed obbligando lo stantuffo ad internarsi di nuovo nel corpo della siringa. La velocità del getto dipende dalla forza comprimente; ed imaginando una colonna d'acqua che abbia per base la sezione del corpo e l'altezza necessaria ad avere un peso equivalente alla forza medesima, la velocità, pel teorema di Torricelli (§. 549), sarà quella debita all'altezza in tal modo determinata.

La *siringa composta* ha pure il corpo CD collo stantuffo *a* ed il cannello *b*, ed inoltre lateralmente un secondo cannello c. Ciascun cannello è chiuso da una *valvola*. La valvola del cannello laterale *c* si apre all'indentro del corpo della siringa, quella del cannello *b* all'infuori. Mettendo in comunicazione il cannello c col liquido, e sollevando lo stantuffo, il liquido stesso entra, per la pressione atmosferica esterna, nel cannello apre la valvola e riempisce il corpo del cilindro; mentre la valvola del cannello *b* è premuta dalla stessa atmosfera è chiusa con maggior forza. Spingendo lo stelo, l'acqua, per l'impedimento della valvola, non può più uscire pel cannello *c*, si fa strada invece pel cannello *b* aprendo la valvola ed esce sotto forma di getto, come nella siringa semplice. La siringa serve per parecchi bisogni usuali, e principalmente per alcune operazioni chirurgiche.

568. La *canna idraulica* è un tubo più o meno grande AB (fig. 181) chiuso superiormente da una valvola *v*, che si apre all'infuori. Tenendo la canna con una mano ed imprimendole un moto subitaneo introducendola per l'estremità aperta B nell'acqua contenuta in una vasca EF; l'aria interna, per la sua inerzia o per le leggi della comunicazione del moto (§. 230), non concepisce movimento, e per l'abbassarsi della canna rimane al suo posto fuori della capacità della machinetta, donde ha potuto uscire per l'apertura della valvola, che

si apre all'infuori. Tosto che l'aria si trova fuori della canna, lascia dietro di sè un vuoto, dove ascende l'acqua contenuta nella vasca EF. Innalzando ora la canna ed abbassandola poscia nello stesso modo, si obbliga una nuova entrata d'acqua, la quale da C giunge sino alla sommità a contatto della valvola. Continuando il moto alternativo di innalzamento ed abbassamento della canna, l'acqua esce pel foro della valvola, e si dispone superiormente ad essa, da dove viene versata nel recipiente destinato a riceverla.

Questa semplice machinetta si potrebbe applicare ad un ordigno costrutto in modo da imprimerle alternativamente i due moti d'innalzamento e d'abbassamento, e farla servire così ad elevare l'acqua a certe altezze. La quantità d'acqua elevata, in ogni escursione, dipende dalla celerità con cui la canna viene immersa nel liquido della vasca EF e dalla porzione di essa che vi s'immerge.

569. Le machine più generalmenta diffuse per gli usi della società e pei bisogni delle arti sono le *trombe*, che possono essera *aspiranti*, *prementi* e *composte*.

La *tromba aspirante* si compone del *tubo d' aspirazione* AB (fig. 182), che pesca coll'estremità inferiore nell'acqua; del *corpo di tromba* CD munito, dove si congiunge col tubo, d'una valvola H, la quale si apre all'insù, a dello *stantuffo* G, che è traforato nella direzione del suo asse ed ha la valvola *h*, che si apre pure all'insù. Mediante una leva angolare lo stantuffo viene alternativamente innalzato ed abbassato. Nel primo movimento l'acqua si eleva nel tubo d'aspirazione per la pressione dell'aria esterna, e porzione dell'aria in esso contenuta passa pel foro della valvola H nel corpo di tromba. Nel successivo movimento si chiude questa valvola, e l'aria è obbligata ad uscire pel foro dell'altra *h* nall'atmosfera. In un secondo e terzo innalzamento l'acqua ascende ancor più, ed entra nel corpo di tromba, da dove, nell'abbassarsi dello stantuffo, passa al disopra di esso e si solleva sempre più a misura che ha passaggio nuov'acqua. Giunta ad una certa altezza scola pel tubo addizionale EF nel serbatoio destinato a riceverla. Alle volte il tubo addizionale s'innalza verticalmente e porta una valvola che si apre pure all'insù, per dove entra l'acqua all'innalzarsi dello stantuffo senza poter più retrocedere.

Il tubo d'aspirazione ha un limite nella sua lunghezza, al di là del quale la tromba non avrebbe più verun effetto. Questo limite varia secondo l'altezza del luogo sul livello del mare, come avremo occasione di meglio dimostrare nel capitolo seguente. Nei paesi vicini al

mare il tubo d'aspirazione non deve avere la lunghezza maggiore di 10 metri e in alcune circostanze anche meno. La lunghezza diminuisce a misura che il luogo è situato ad altezze più grandi sul livello del mare.

Vi ha un apparato, col quale si dimostra che l'elevazione dell'acqua nel tubo d'aspirazione non succede, quando la vasca è rinchiusa in uno spazio vuotato d'aria. Esso si compone d'una campana di vetro, nella quale si fa il vuoto colla machina pneumatica. La vaschetta contenente l'acqua è collocata sotto alla campana, e il tubo d'aspirazione pescando in questo liquido s'innalza a traverso il coperchio metallico della campana medesima. Per quanto si faccia agire lo stantuffo innalzandolo ed abbassandolo, l'elevazione dell'acqua nel tubo d'aspirazione è senz'effetto, per la ragione che non vi ha la forza della pressione atmosferica, come vedremo nel seguente capitolo.

Appartiene a questa classe la *tromba a soffietto* (fig. 183). In essa invece dello stantuffo vi ha una membrana flessibile attaccata all'intorno del corpo di tromba come un soffietto, e munita nel centro d'una valvola. Quando lo stelo è innalzato, si aumenta lo spazio a disotto della membrana, e il liquido è aspirato ed entra nel corpo di tromba pel foro della valvola *h*; quando invece è abbassato, il liquido è premuto ed è obbligato a passare pel foro della valvola *b* superiormente alla membrana. È una tromba di questa specie che serve a far salire l'olio in alcune lucerne.

570. La *tromba premente* è simile alla siringa CD (fig. 180), dove invece del piccolo cannello laterale c vi ha un condotto per cui l'acqua entra nel corpo di tromba, e il cannello *b* è il tubo per dove passa l'acqua premuta dallo stantuffo. Allorquando si trattasse d'innalzare l'acqua, il corpo CD deve essere capovolto, oppure il tubo *b* deve essere ripiegato in direzione verticale. L'acqua apre la valvola applicata in c, ed entra nel corpo di tromba a misura che si ritira lo stantuffo, e vi entra tanto per la pressione atmosferica quanto pel proprio peso. Questa tromba dunque potrebbe agire anche nel vuoto a differenza di quella aspirante, purchè l'acqua affluente pel tubo applicato in c, fosse abbastanza elevata da entrare pel suo peso nella capacità inferiore del corpo di tromba e tenerlo costantemente pieno ogni volta che si ritira lo stantuffo.

571. La tromba composta è formata della tromba premente AB (fig. 184), nella quale il tubo di salita CD è applicato lateralmente e ripiegato nella direzione verticale, e del tubo d'aspirazione PQ colla rispettiva valvola F. Lo stantuffo è cieco come nella tromba pre-

mente. È facile, da quanto abbiamo detto, comprendere il modo d'azione della tromba composta.

In quanto alla forza per tenere sollevata l'acqua in ogni specie di tromba, essa si valuta dal peso d'un cilindro di quel liquido che ha per base la testa dello stantuffo e per altezza quella della colonna liquida che si solleva.

Si fa uso dell'una o dell'altra specie di trombe secondo il bisogno e secondo le circostanze di luogo, dove deve essere posta in opera. In generale, quando si tratta di elevare l'acqua, bisogna far uso di trombe aspiranti, e se l'acqua deve essere portata a grandi altezze non si può far a meno della tromba composta. Per rendere ostensibile nella scuola il modo d'azione e l'effetto delle tre specie di trombe, si hanno esse riunite in un solo apparato formato con recipienti di vetro, al quale vi ha congiunto eziandio il *soffiatoio idraulico*, di cui parleremo più avanti.

572. Una delle machine molto semplici per innalzare l'acqua è la *tromba a rosario*. Un largo tubo sta immerso per un'estremità verticalmente nell'acqua, al disopra del quale è disposto il rocchetto a lanterna d'un verricello. Una fune continua passa attraverso al tubo, si accavalla al rocchetto e pende dal lato opposto sino nell'acqua al disotto del tubo. La fune ha connesso ad eguali intervalli una serie di palle di legno dello stesso diametro del tubo, a somiglianza della corona pel rosario. Facendo girare il verricello, gira con esso la fune a rosario, e le palle, entrando pel disotto nel tubo, trasportano con sè l'acqua, che vi è contenuta, la innalzano sino alla sommità, da dove la versano in un canale contiguo. Il tubo deve avere l'altezza eguale a quella cui si vuole far salire l'acqua, oltre la porzione inferiore immersa nella medesima.

Si può anche ingrossare la fune e lasciare le palle, giacchè essa porta con sè aderente l'acqua nel tubo e la innalza nel medesimo; oppure sostituire parecchie funi che si farebbero girare e passare pel tubo nello stesso modo. L'acqua, giunta superiormente al rocchetto del verricello, è lanciata per la forza centrifuga nel canale sottoposto, pel quale è condotta nel luogo della sua destinazione. È questa machina conosciuta sotto il nome di *tromba di Vera*, o *tromba a funi*. Le due machine idrauliche descritte sono semplici e di facile costruzione; per cui esse, in mancanza delle trombe comuni, possono essere di qualche vantaggio.

Di queste, come delle precedenti trombe, si suole nelle arti determinare il momento dinamico che con esse può fare un uomo, in-

vece di calcolare lo sforzo necessario per l'equilibrio. Ho trovato scritto, per esempio, che con una tromba a funi due uomini elevarono in 6 minuti 274 decimetri cubici d'acqua all'altezza di 27 metri. Riducendo questo effetto all'unità dinamica stabilita (§. 198), e ritenendo che i due uomini possano lavorare 6 ore al giorno, dovendo, nell'azione di questa machina, imprimere una certa velocità alla fune continua per avere il maggior effetto utile; si trova pel momento dinamico dei due uomini 444,44, e quindi per un solo uomo 222,22; cioè poco più di 222 chilogrammi elevati all'altezza d'un chilometro. Questo lavoro è circa il quadruplo del momento dinamico del facchino nel portare legna salendo per una scala (vedi pag. 142, n° 4 della tavola).

573. La *tromba per gl'incendi* è a getto continuo per mettersi in azione con essa l'elasticità dell'aria. Si compone d'una tromba premente AB (fig. 185), colla quale s'introduce in un robusto serbatoio di rame C l'acqua contenuta in una gran cassa di legno, che fa parte dell'apparato. Coll'introduzione dell'acqua si condensa nella capacità superiore di C l'aria, che naturalmente trovavasi nel serbatoio. Per tal condensazione il fluido aeriforme acquista un'elasticità prevalente alla pressione dell'atmosfera esterna, per cui preme sulla superficie dell'acqua e la spinge fuori in forma di getto continuo pel tubo EF, che mette capo verso il fondo del serbatoio. Per dirigere il getto liquido sulle materie incendiate, si congiunge con EF un tubo flessibile, il quale si piega per ogni verso, e può servire facilmente a far cadere l'acqua là dove è più attivo l'incendio. Per ottenere un maggior effetto, la machina ha due trombe prementi, con cui è continua l'introduzione dell'acqua nel serbatoio C.

In questa tromba per determinare lo sforzo, che si esercita colla leva nell'introdurre l'acqua nella conserva, bisogna che sia dato il grado di condensazione dell'aria, ciò che impareremo a valutare nel capitolo seguente. Per tutte le altre precedenti trombe il momento della potenza è Pm, essendo m il suo braccio di leva. La resistenza è composta del peso della colonna liquida espresso da abg, dove a è l'altezza, b la base o la testa dello stantuffo e g la gravità specifica del liquido; e del peso p dello stantuffo, per cui il momento risulta $(abg \pm p)n$, essendo n l'altro braccio di leva, e dove il segno superiore vale nel caso che il peso dello stantuffo sia contrario e il segno inferiore cospirante all'azione della potenza. Avanti di passare al moto, si avrà per l'equilibrio $mP = n(abg \pm p)$.

Per le dimostrazioni nella scuola importa che il serbatoio C sia di vetro, onde vedere il modo d'azione dell'apparato.

574. La *tromba a rotazione continua* può riuscire molto utile in parecchi bisogni sociali; e quantunque essa sia stata imaginata or sono quasi tre secoli dal Ramelli (1), se ne è soltanto da non molti anni esteso l'uso. Il cavalier Litta sul finir dello scorso secolo inventò l'*idrobalo*, che è a rotazione alternativa (2), e che fu poscia modificato dal canonico Castelli sotto il nome di *tromba Napoleone* o *ventilatore idraulico* (3). Le machine di Litta e di Castelli partecipano della tromba del Ramelli, senza esserne una copia come è quella spacciata nel 1825 da Dietz in Francia sotto il suo nome (4).

Per comprendere la maniera d'azione della tromba a rotazione continua, si abbiano due cilindri concentrici, l'uno cavo ABCDE, e l'altro massiccio *abcde* contenuto nella capacità del primo (fig. 186). Il cilindro cavo è chiuso alle sue basi e forma una specie di tamburo, le cui dimensioni interne variano secondo la portata che si vuol dare alla tromba. Quello che abbiamo sott'occhio ha 10 centimetri di diametro e 4 di altezza nella cavità; mentre il massiccio ha il diametro di 8 centimetri. Rimane dunque uno spazio vuoto all'intorno od una zona circolare della largezza di 2 centimetri fra i due cilindri concentrici ABCDE, *abcde*. La metà di questa zona ha un diaframma semicircolare *xgzw*, che è a contatto col contorno del cilindro *abcde* e che colle sue estremità è assicurato alla periferia interna del tamburo ABCDE. In tal modo si forma una capacità convesso-concava compresa dal diaframma e dalla semiperiferia interna del tamburo. Questa capacità poi è divisa in due compartimenti dall'assicella T. L'uno di questi compartimenti è in comunicazione, mediante un foro circolare *z'* fatto nel tamburo, con un tubo esterno, che pesca nell'acqua da essere innalzata dalla tromba; al-

(1) Si vegga l'opera: — *Le diverse ed artifiziose machine* ecc. del capitano Agostino Ramelli ingegnere al servizio del re di Francia, pubblicata a Parigi nel 1588 nelle due lingue italiana e francese.

(2) *Sull'idrobalo*, Memoria d'Agostino Litta premiata dall'Accademia di Mantova. Milano 1781.

(3) *Il ventilatore idraulico*, di Carlo Castelli. Milano 1809.

(4) Si vegga l'opuscolo del prof. Gherardi che ha per titolo — *La tromba ad acqua di Dietz rivendicata al Ramelli ed al Cavalieri con varie notizie storiche sulla tromba Napoleone*. Bologna 1844. — Del quale si è fatto cenno negli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, tom. XIV, p. 291.

l'altro compartimento corrisponde pure un foro circolare *y'*, a cui è applicato il tubo d'erogazione. I due compartimenti comunicano altresì per mezzo dei fori *y*, *z* fatti nel diaframma colla rimanente capacità della zona circolare. Il cilindro massiccio *abcde* ha infisso nel suo centro l'asse di rotazione segnato in nero nella figura, il quale è mobile dentro due cavità circolari fatte nelle basi del tamburo ABCDE, e si fa ruotare mediante un manubrio applicato esternamente. In una cavità praticata nel cilindro *abcde* sta annidato i nucleo *lnqsv* connesso colla base opposta del tamburo ABCDE. Questo nucleo si compone di due mezzi cilindri circolari; l'uno *lmnpq* concentrico col diaframma semicircolare *xyzw*, l'altro *qrstuvl* concentrico col cilindro *abcde*. Nel cilindro mobile *abcde* vi sono praticati, nella direzione di due suoi diametri ortogonali, quattro intagli rettangolari, che s'internano verso il centro d'un intervallo eguale al doppio della larghezza della zona circolare, e nel nostro caso di 4 centimetri. In questi intagli vi sono collocate quattro palette F, G, H, I, le quali, durante la rotazione, si trovano con un'estremità aderenti, o alla periferia interna del tamburo ABCDE, od al diaframma semicircolare *xgzw*, e coll'altra si appoggiano al contorno del nucleo *lnqsvl*.

Ciò posto, mettiamo in azione la machina facendo ruotare l'asse e con esso il cilindro *abcde*. La paletta F, nella posizione indicata dalla figura, si trova interamente annidata nella cavità rettangolare; ma nella rotazione da *b* verso *c* viene ad appoggiarsi a punti sempre più prominenti del nuclee, ed è gradatamente spinta fuori da questa cavità e tenuta aderente al diaframma, sino a che nella posizione G essa diventa sporgente per metà della sua lunghezza. Da questo punto pel giro d'una semiperiferia sino alle posizioni H, I, la paletta si conserva sempre egualmente sporgente, per essere in questa semirivoluzione il contorno del nucleo concentrico alla circonferenza interna del tamburo. Dalla posizione I, essa incomincia a combaciare col diaframma; dal quale è ricacciata gradatamente nella propria cavità sino ad esservi per intero, giunta nella posizione da cui è partita. Succede lo stesso delle altre tre palette durante la rotazione.

Nella rotazione, una delle palette F, partendo dalla linea di contatto del cilindro *abcde* col diaframma, lascia dietro di sè uno spazio vuoto compreso fra essa e la linea di combaciamento, e per questo vuoto si produce una rarefazione nell'aria contenuta nel compartimento con cui comunica pel foro *z* del diaframma. Sopragiunge la paletta seguente I, che fa di nuovo il vuoto e rarefà ancor più l'aria in quel compartimento. Lo stesso succede delle palette H, G, per

cui si obbliga l'acqua, come nella tromba aspirante (§. 569), a salire pel tubo B, a riempire pel foro z' quel compartimento, e ad entrare pel foro z nello spazio, dove è stato fatto consecutivamente il vuoto. Giunte le cose a questo punto, la paletta sopraveniente conduce con sè l'acqua entrata e la porta sino dirimpetto al foro y, da dove è costretta a sboccare nell'altro compartimento ed a passare in seguito per l'apertura y' nel tubo d'erogazione. Imprimendo una certa velocità all'asse di rotazione, si ha dal tubo A un getto continuo dell'acqua, che continuamente vi affluisce e che entra pel tubo d'alimentazione B.

In alcune trombe di rotazione, invece del nucleo *lnqtv*, le palette vengono spinte da mollette spirali, per cui sono tenute aderenti al contorno schiacciato, che è formato dal diaframma *xyzw* e dalla semiperiferia interna CDE del tamburo. La portata di questa tromba dipende dalla velocità di rotazione, dalla capacità degli spazi interni lasciati vuoti dalle palette, e dall'esattezza con cui queste combaciano col contorno entro cui fanno il loro moto di rivoluzione.

575. Si può anche far servire la forza centrifuga all'elevazione dell'acqua, secondo il principio altrove dichiarato (§. 380), e così aver la *tromba a forza centrifuga*. Per comprendere il modo d'azione di questa tromba, imaginiamo un tubo ABC (fig. 187) piegato ad angolo retto in B. Il ramo verticale AB è girevole sopra due perni p, q, e nel moto di rotazione che gli si fa concepire gira con esso il ramo orizzontale BC. L'estremità A del ramo del tubo, che serve di asse di movimento, pesca nell'acqua che si vuole innalzare, termina in un rigonfiamento munito di molti pertugi ed ha una valvola che si apre all'indentro. Nella rotazione, l'aria contenuta nel ramo orizzontale BC esce e sfugge per la forza centrifuga, ed obbliga l'aria del ramo AB a venire ad occupare il suo posto e quindi l'acqua inferiore a farsi strada pel foro della valvola e ad entrare nel tubo. Continuando il moto di rotazione, l'aria subentrata nel ramo BC sfugge alla sua volta, e infine vi giunge l'acqua che egualmente è lanciata all'intorno pel foro C, dove si raccoglie in un canale per condurla al luogo destinato.

Per accrescere l'effetto della machina ed avere una maggior quantità d'acqua elevata, si adattano al tubo verticale AB parecchi tubi orizzontali, e in tal caso si dà ad AB un maggior diametro. La velocità di rotazione deve essere tanto più grande quanto è maggiore la differenza di livello dell'estremità C e dell'acqua nel serbatoio.

Per l'esperienza in una scuola si ha la *tromba a forza centrifuga* rappresentata in EFG.

576. Per travasare i liquidi senza agitarli da un recipiente in un altro serve il *sifone*. Il più semplice dei sifoni consiste in un tubo ricurvo ABC (fig. 188) a rami disuguali. Il più corto AB s'immerge nel liquido, mentre il più lungo BC è rivolto verso il basso e viene a corrispondere colla sua estremità C inferiormente al fondo del vaso. Dopo aver disposto l'apparato in tal modo, si succhia per l'apertura C e si obbliga il liquido a salire nel tubo per la pressione prevalente dell'atmosfera verso l'altra estremità A. Il liquido poscia discende pel proprio peso, esce pel ramo BC, ed obbliga a salire nell'altro ramo nuovo liquido, che come il primo esce alla sua volta. Si forma così un flusso di liquido, che continua, sinchè il ramo più corto AD resta immerso in quello del vaso, il quale dopo un certo tempo viene interamente vuotato.

Per non avere l'incomodo di succhiare all'estremità inferiore ed inoltre, se il liquido è corrosivo come sarebbe un acido, d'incorrere nel pericolo di qualche danno, si è unito al ramo più lungo un tubetto ricurvo *ef*, con un rigonfiamento *g*, praticandosi con esso il succhiamento dopo aver chiuso con un dito l'apertura C del sifone. La velocità dello scolo è debita alla differenza d'altezza delle colonne liquide nei due rami. Nel capitolo seguente comprenderemo meglio questo semplicissimo strumento che è di uso comune per travasare i liquidi, essendo stato adoperato anche ad asciugare un tratto di fiume afine di riparare una diga. Il sifone in questo caso aveva il diametro di 8 centimetri.

Il *tantalo* o il *vaso di tantalo* è una specie di bicchiere al quale è applicato sul fondo un sifone, dal cui ramo è attraversato, mentre l'altro ramo comunica col vaso verso il fondo stesso (fig. 189). Versando in esso l'acqua, questa si conserva nel recipiente, sinchè non ha raggiunto l'altezza per mettere in azione il sifone. Una volta che l'acqua abbia incominciato a fluire, il vaso si vuota interamente anche verso il fondo, e per quanto si continui a versare acqua non si giunge a mantenerlo pieno. Sul principio del sifone è stato costrutto un lume o una lucernetta da notte. La *cantinflora*, per mescolare l'acqua fresca, è del pari un'applicazione del sifone.

Quando si vuole esperimentare la bontà del vino contenuto nella botte senza cavarlo dallo spinello e rimoverne tutta la massa, serve l'*assaggiatore*. Esso consiste in un tubo *ab* (fig. 190) di latta, di diametro minore del foro del cocchiume, congiunto con un tubet-

tino *pq* munito d'un piccolo foro, e terminato inferiormente in cono *c*. S'introduce lo strumento pel cocchiume nel liquido, del quale si empisce allo stesso livello; si estrae poscia, tenendo chiuso con un dito il foro *p*. Con ciò s'impedisce al liquido di cadere nell'atto che si estrae dalla botte; ma collocandovi al disotto un bicchiere, si leva il dito e il liquido scola pel suo peso.

577. La *coclea d'Archimede* serve al pari delle trombe ad elevare l'acqua. È un tubo piegato a spirale avvolto al cilindro AB inclinato all'orizzonte (fig. 191). Appoggiata su due piedritti si colloca la machina in modo che la base peschi non del tutto nell'acqua, e poscia si fa girare il cilindro mediante il manubrio M in direzione tale che il tubo coll'apertura inferiore imbocchi per disopra la superficie dell'acqua. Continuando la rotazione, l'acqua s'innalza pel tubo a spira e giunge alla sommità, da dove è versata per l'apertura superiore. È facile comprendere che, nelle diverse posizioni prese dall'elica, la porzione d'acqua entrata nel tubo discende pel proprio peso come per un piano inclinato, empiendo la parte più bassa del giro della spira, la quale nel rivolgimento s'innalza ed obbliga l'acqua a discendere per un altro giro; e così pel rivolgimento del cilindro guadagna sempre più in altezza verticale e giunge alla sommità della machina.

È chiaro che l'acqua s'introdurrà nel tubo ad intervalli di tempo, e quindi il versamento dell'acqua dall'apertura superiore riuscirà intermittente. Ogni giro del tubo spirale conterrà dell'acqua soltanto per porzione della sua capacità, la quale chiamasi *arco idroforo*. La portata della coclea d'Archimede dipende dalla lunghezza dell'arco idroforo; talchè, misurando questa lunghezza e moltiplicandola per la sezione del tubo, si avrà la quantità d'acqua innalzata ad ogni versamento. Affinchè la machina possa agire, bisogna che l'angolo della sua declinazione dalla verticale sia maggior di quello dell'inclinazione della spirale colla base; ed inoltre quanto più il primo sarà piccolo in confronto del secondo angolo, tanto più lungo riuscirà l'arco idroforo e quindi la portata.

Si è variata la costruzione della coclea: Locatelli ha avvolto il tubo ad un cono che si fa girare nello stesso modo del cilindro; altri hanno piegato il tubo in spirale piatta.

578. Altre machine conta l'idraulica per mettere in moto i liquidi. La machina a corona del Frangini ha qualche somiglianza con quella, di cui si è fatto cenno nel parlare dei sistemi di torni (§. 459), e che chiamasi *bindolo idraulico*. Spetta all'idraulica di

occuparsi di quelle machine; noi faremo invece conoscere un mezzo applicabile anche agli apparati della scienza, per ottenere un flusso costante. Il *vaso di Mariotte* si presta a tale intento.

Si ha il vaso AB (fig. 192) pieno di liquido sino in *mn*, vicino al cui fondo è praticato il foro *a*; si tratta di rendere costante il flusso durante il tempo che il vaso si vuota di liquido. La bocca del vaso è chiusa con un tappo, nell'asse del quale è acorrevole a tenuta d'aria il tubo *ef*, che può essere internato più o meno nella massa liquida. L'orifizio *a* è abbastanza stretto, perchè l'acqua non possa essere divisa dall'aria, e dar luogo a bolle di questo fluido d'internarsi nel vaso. Essendo chiusa l'apertura *a* per lo scolo, s'applica il tubo al tappo e s'introduce esso nell'acqua sino ad una certa profondità; il liquido entrerà nel tubo e si metterà allo stesso livello *h* di quello *mn* nel vaso.

Disposto ciò, supponiamo dapprima che il tubo *ef* siasi internato in modo nel liquido che coll'estremità *f* si trovi in *f'* al disotto dell'orizzontale *ab*: levando il tappo da *a*, l'acqua fluirà per l'orifizio in virtù del peso della colonna liquida contenuta nel tubo, essendo eguali le due pressioni dell'atmosfera sulla superficie di livello del liquido e su quella dell'orifizio. Ma in questa prima uscita, il liquido si abbassa rapidamente nel tubo dal punto *h* in *g*, dove si arresta ed ogni efflusso cessa per l'orifizio *a*. Che debba avvenire così è chiaro, perchè in tutta l'estensione dello strato orizzontale *bga* la pressione è la medesima di quella al punto *g*, cioè d'un'atmosfera; ma al luogo della sortita è d'un'atmosfera la pressione esterna, quindi il liquido corrispondente al foro per l'eguaglianza delle due pressioni interna ed esterna non può effluire. Si faccia scorrere il tubo e si porti coll'estremità in *f* al disopra del livello *bga*: all'istante l'efflusso incomincia; bolle d'aria si formano all'estremità inferiore del tubo medesimo, si gonfiano, si distaccano e salgono nella parte superiore del vaso. L'efflusso continua con una velocità costante; ed a misura che il liquido esce dal vaso per l'orifizio, entrano pel tubo delle bolle d'aria nella capacità superiore. Un tale stato di cose dura sino che il livello *mn* del liquido sia disceso sino in *f*; e da quest'istante la velocità dell'efflusso va diminuendo sino a diventar nulla quando è giunto in *g*. Si ha dunque un efflusso costante nel discendere il livello da *mn* all'estremità *f* del tubo; perchè si mantiene costante la pressione sulle molecole liquide corrispondenti al foro, essendo essa sempre d'un'atmosfera più la colonnetta liquida che ha l'altezza *gf*

nell'interno, e d'un'atmosfera all'esterno sulla superficie del foro; per cui la velocità dell'efflusso è sempre debita all'altezza gf.

Questo semplicissimo apparato per ottenere l'efflusso liquido di velocità costante può essere utile in parecchie indagini della fisica; qui diremo solo che è stato applicato alle lucerne ad olio, per mantenere questo liquido costantemente allo stesso livello dell'orifizio, dove abbrucia.

579. I liquidi diventano essi medesimi motori per la loro gravità, e si oppongono ed estinguono benanche per la loro inerzia il moto dei corpi da cui sono solcati od attraversati.

Primieramente noteremo che il calorico può disturbare l'equilibrio idrostatico d'una massa liquida, e produrre in essa dei moti indipendentemente dall'azione esercitata per mezzo di qualunque machina. Abbiasi un vaso pieno di liquido naturalmente in equilibrio, ed agli strati inferiori si applichi il calore: questi si dilateranno (§. 530) e diventeranno con ciò specificamente meno pesanti di quelli superiori, che hanno conservato la primitiva temperatura. Per un tal cambiamento di densità negli strati liquidi, l'equilibrio sarà rotto, e si genereranno due movimenti: gli strati superiori cadranno verso il fondo del vaso, mentre gl'inferiori saliranno in alto (§. 504). Il primo di tali movimenti è prodotto dall'eccesso di gravità specifica degli strati non riscaldati su quelli riscaldati; il secondo della spinta verticale che risulta dalla prevalenza del peso dei volumi più densi sui meno densi, e ciò a somiglianza dei corpi solidi sommersi in un liquido (§. 521). Chiamando c il coefficiente di dilatazione del liquido, t la temperatura degli strati riscaldati e t' quella primitiva, le correnti ascendenti e discendenti prenderanno un moto, la cui velocità è $v=c(t-t')\sqrt{2ga}$, essendo a la distanza del livello di ciascun strato.

L'acqua, come qualunque altro liquido, può servire di motore per la sua gravità e per la percossa. Si adopera nell'una e nell'altra maniera; ma nella percossa si perde molto dell'azione motrice, per cui è meglio far agire l'acqua per la sua gravità. Su tale proposito importa che si conosca uno sperimento di Galilei riferito nei suoi *Dialoghi*. Al fusto d'una bilancia si attaccano due secchi ad una certa distanza fra loro, e l'un sotto l'altro. Il più elevato è pieno d'acqua, l'altro è vuoto. Il secchio superiore ha praticato sul fondo un foro, che si apre dopo avere diligentemente posti in equilibrio i due secchi con pesi. L'acqua abbandona il primo secchio e per un istante non gravita più sulla bilancia, dopo cui va a percuotere il secondo

secchio. Al primo istante l'equilibrio è rotto, e la bilancia prepondera dalla parte dei pesi; ma tosto che l'acqua è giunta a percuotere il secondo secchio, il contrappeso incomincia a sollevarsi e il tutto è ricondotto all'equilibrio come prima, quantunque l'acqua continui ad abbandonare il primo secchio per cadere nel secondo.

Questo sperimento ci fa accorti che l'effetto dell'urto sul secchio inferiore risultava di tanto quanto bastava pel giusto compenso della diminuzione di carico, che succedeva in virtù della colonna d'acqua sospesa nell'aria, che in quel momento non gravitava più sulla bilancia, ed in virtù del trovarsi libera, per la caduta porzione, dell'acqua superiore, senza esercitare l'azione del suo peso sul secchio. La gravità dunque, cessando di produrre il suo effetto come peso morto sui sostegni che cedono alla sua azione, lo consegue nel suo moto per la percossa. Avendosi dunque nei due casi l'egual effetto, sarà meglio impiegare l'acqua come motore col suo peso che colla percossa, disperdendosi in questa porzione della forza per lo sparpagliamento e le riflessioni laterali del liquido e per la cedevolezza dei corpi in conflitto, che diminuisce l'effetto dell'urto (§, 236).

580. L'acqua s'impiega come motore mediante grandi ruote, nelle quali produce una rotazione col suo peso e colla percossa. In tal caso esse prendono il nome di *ruote idrauliche*. Nei *mulini*, nei *torchi*, nei *magli*, nei *pistrini*, come pure nelle *cartiere*, nelle *seghe*, nelle *gualchiere* le ruote sono d'ordinario mosse per l'urto dell'acqua, che cade da una certa altezza sulle *pale* o *palette*, o sopra ale o palmette incurvate, di cui sono fornite alla loro periferia. La percossa dell'acqua può essere normale od obliqua alla superficie su cui cade, come pure essere fatta con più o meno velocità. In ogni caso si ha un effetto differente.

La misura assoluta della percossa dell'acqua contro una data superficie si ottiene, secondo le sperienze di Zuliani, Bossut, Brunacci ed altri, moltiplicando la porzione di superficie urtata pel doppio dell'altezza debita alla velocità del liquido, il qual prodotto in misura metrica dà un volume d'acqua equivalente in peso all'effetto della percossa, per cui si moltiplicherà per 1000 per averlo espresso in chilogrammi. Questo vale nel caso che la lastra urtata sopravanzi notabilmente la sezione della vena liquida. Se la lastra è più angusta l'urto riesce minore; e quando eguaglia o di poco eccede la sezione della vena, la percossa si riduce ad una colonna d'acqua della stessa base e dell'altezza eguale a $\frac{3}{4}$ di quella debita alla velocità. Fra

questi limiti è contenuta la percossa dell'acqua nei casi intermedii. Allo Zuliani devesi questa legge : Brunacci e Morosi hanno mostrato come, circondando la superficie urtata d'un orlo rilevato, la percossa si accresce sino al peso d'un prisma d'acqua di grossezza eguale alla vena e d'altezza quadrupla di quella dovuta alla velocità.

Quando l'urto è obliquo, la percossa diventa minore. Se l'angolo è semiretto, la percossa si riduce alla metà di quella perpendicolare; e se l'angolo sia la terza parte del retto, la percossa diventa $\frac{1}{4}$ della normale. Se il piano urtato dall'acqua si muove nello stesso verso della corrente, l'azione della percossa riesce molto minore, e sarebbe nulla quando la velocità del primo fosse eguale a quella dell'acqua. In tal caso la velocità, che influisce sull'effetto della percossa, è la differenza delle velocità del liquido e del corpo su cui si esercita l'azione.

581. Per dare qualche idea delle ruote idrauliche mosse dalla percossa dell'acqua, osservisi quella rappresentata nella figura 193 munita alla periferia di palette, che vengono successivamente urtate dalla corrente d'acqua del canale AB, dove pescano. La ruota, nel suo movimento di rotazione, solleva delle secchie congiunte alla periferia, che si empiscono d'acqua al momento che la trascorrono, e giunte alla sommità la versano in un doccione, pel quale viene condotta ad uso dell'irrigazione. Invece d'impiegare delle secchie si fanno le ruote colle razze incurvate e cave (fig. 194), le quali nell'immergersi nell'acqua ne raccolgono una certa quantità, che discende lungo le razze, a misura che s'innalzano, e si scarica in un serbatojo pel centro. Queste machine idrauliche si appellano *ruote persiche*, quantunque se ne vedano non solo in Persia, ma altrove e in gran numero sulle rive del Nilo. In altre l'acqua cade sulla ruota immediatamente da una certa altezza per un condotto GH (fig. 195), percuote le palmette inclinate in forma di cucchiai, in modo che esercita la sua azione e per la sua percossa e pel suo peso con quella porzione che rimane nella capacità dei cucchiai. Il moto della ruota A viene comunicato per mezzo della B ad una ruota a corona C, la quale trasmette il movimento per mezzo della manovella *pq*.

È meglio, come si disse, far agire l'acqua per mezzo del suo peso, introducendola in recipienti lunghi quanto è la larghezza della ruota, e della forma più conveniente che è quella data da Poncelet, di cui si può avere un'idea gettando l'occhio sulla figura 196. La disposizione e la forma dei truoghi data da Poncelet alle ruote idrau-

fiche, mosse dalla pressione dell'acqua, hanno la proprietà di rendere l'azione del peso del liquido normale al braccio di leva con cui agisce, d'impedire che l'acqua si disperda per la forza centrifuga nata nella rivoluzione della ruota, e che i truoghi si vuotino tosto che siano giunti nel punto infimo di rotazione senza alterare il moto della ruota. La pressione P, prodotta dall'acqua su queste ruote, è espressa dalla formola $P=203,894.D(V-v)$ chilogrammi, dove v è la velocità della ruota, V quella dell'acqua, D il volume dell'acqua somministrata in un secondo di tempo.

L'effetto utile delle ruote comuni a palette si è trovato di 0,5 della forza impiegata, mentre quello delle ruote costrutte secondo Poncelet l'effetto risulta di 0,7 e nelle circostanze favorevoli di 0,8. Valutando quindi la forza delle ruote idrauliche a palette in attività in tutta l'Italia a 100 mila uomini, si avrebbe con un tal miglioramento di costruzione e collo stesso numero di ruote un lavoro effettivo di $100000 \times \frac{75}{30}$, vale a dire equivalente alla forza di 250 mila uomini. Ecco i beneficii prodotti da un solo miglioramento fatto secondo le indicazioni della scienza.

582. Tutte le ruote idrauliche descritte sono verticali; ve ne sono alcune disposte orizzontalmente e prendono un moto di rotazione intorno al loro asse per la pressione dell'acqua. Si può avere un'idea del principio, con cui sono costrutte le ruote idrauliche orizzontali, esperimentando coll'apparato, che trovasi nei gabinetti di fisica, conosciuto sotto il nome di *rotazione idraulica* od *arganetto idraulico* (fig. 197). L'acqua del vaso riempie i rami laterali ripiegati orizzontalmente a squadra verso le loro estremità. Il peso della colonna d'acqua, che ha per altezza la distanza dei tubi dal livello del liquido nel recipiente, preme per ogni verso sulle pareti di questi tubi (§. 508). Pei fori praticati alle estremità dei rami, l'acqua effluisce e non esercita quindi più veruna pressione sui punti *p*, *m*, mentre rimane la pressione contraria nei punti *q*, *n*; le quali pressioni non essendo più equilibrate imprimono un moto rotatorio orizzontale ai tubi, intorno all'asse *ab*.

Le ruote orizzontali idrauliche, dette anche *turbine*, dipendono dallo stesso principio. La ruota è fornita internamente di cavità curvilinee che mettono capo alla periferia. Queste cavità ricevono l'acqua per un tubo collocato nella parte centrale dell'asse della ruota, ne sono riempite, e l'acqua si scarica alla periferia, esercitando normalmente ai raggi della ruota delle pressioni non più equilibrate

da quelle che si sarebbero esercitate sulle aperture, se fossero state chiuse. Per queste pressioni, chè sono proporzionali all'altezza del liquido nel tubo centrale, la ruota prende un celere movimento di rotazione, somigliante al turbine, e perciò si chiama *turbina*.

583. Non solo colle ruote idrauliche l'acqua può diventare un motore per gli usi delle arti e dell'industria, ma eziandio con apparati in altra foggia disposti. La *machina del Finugio* è di questa specie e consiste in due secchioni P, Q (fig. 198) appesi ai capi della fune accavallata alla carrucola fissa C. Quando i due secchioni sono vuoti, il primo P pesa più dell'altro Q, e si dispongono come è indicato nella figura, appoggiandosi P sul piano sottoposto; ma quando ambidue sono pieni d'acqua, allora Q e più pesante di P. Dal canale AA sgorga una corrente d'acqua che empisce il secchione P, e giunta quasi all'orlo, trova il canaletto *m* per dove ne trasfonde nel secchione Q, e ben presto lo empisce pure di liquido. In tale stato prevale il peso di Q a quello di P, e il primo discende ed innalza il secondo. Giunto P quasi al livello del piano BB, il gancio *p*, di cui è munito verso la bocca, s'incontra col gancio *a* fisso alla sommità del piano BB, e rovescia il secchione P versando l'acqua in una conserva posta sul medesimo; nello stesso tempo Q nella discesa impegna il gancio *q*, di cui è fornito verso il fondo, e si vuota rovesciando l'acqua sul piano sottoposto. Nei due secchioni vuoti d'acqua si è rotto l'equilibrio in direzione opposta, e il più pesante P ritorna a discendere, innalzando l'altro Q, ed a mettersi nella posizione primitiva, per ripetere lo stesso movimento alternativo. In tal modo l'acqua posta nel secchione Q solleva quella contenuta nell'altro P all'altezza AB, per portarla ad irrigare dei campi o a qualunque altro uso. Il moto è reso uniforme da un volante applicato alla carrucola (1). Questa machina non può convenire se non nel caso che si avesse una sovrabbondanza d'acqua proveniente dal condotto AA, che andasse dispersa inutilmente, e che non importasse di economizzare per l'attivazione di qualche altra machina di maggior utilità.

584. Un'altra machina che serve ad elevare l'acqua, senza far uso di ruote, è l'*ariete idraulico*. Cerchiamo di far comprendere il principio d'onde esso trae la sua forza motrice. Un corpo qualunque in movimento incontra tutto ad un tratto una forza od un ostacolo

(1) Per la teorica di questa machina idraulica si vegga la Memoria di Brunacci *Sul computo delle machine idrauliche*, negli *Atti dell'istituto lombardo-veneto*. Milano 1822.

qualunque che si oppone al suo cammino. Avanti che il moto opposto sia trasfuso in tutte le parti della massa, sappiamo essere necessario un certo tempo (§. 230), per cui queste parti, ancor dotate della loro velocità, urteranno la porzione già arrestata; e se il corpo è un liquido, quest'urto si trasfonderà per ogni direzione (§. 503), e quindi sulle pareti del recipiente dove è contenuto. Una colonna d'acqua adunque in moto trova un ostacolo alla sua estremità, e il primo strato viene all'istante posto in quiete, i successivi premeranno su questo e l'urteranno, e l'urto si comunicherà alle pareti del tubo. È da questa pressione laterale, al momento che vien arrestato il primo strato d'acqua, che l'ariete trae la forza motrice.

Sia A un recipiente mantenuto costantemente pieno d'acqua (fig. 199), la quale pel tubo BC giunge all'estremità C, per dove fluisce. Rimanendo aperta questa estremità, l'acqua continuerà a trascorrere pel tubo colla velocità debita all'altezza del livello dell'acqua del recipiente A sul tubo. Ma alla medesima estremità vi è applicata una valvola a ventola, la quale è impedita a chiudere il foro C del tubo da una debole molla a spirale, e l'acqua può fluire per questa estremità. Quando il liquido ha acquistato tutta la sua velocità, esso urta la valvola, vince la debole resistenza della molla, il foro è chiuso e il primo strato è all'istante arrestato. L'urto, che questo riceve dagli strati successivi, si comunica alla parete del tubo, innalza la valvola *d*, e l'acqua entra nell'altro tubo verticale EF. Tosto che è cessata questa pressione sulle pareti del tubo, la valvola *d* si chiude di nuovo pel suo peso, essendosi nello stesso tempo aperta l'altra valvola all'estremità C, spinta dall'elasticità della molla. Ritorna quindi l'acqua a fluire pel foro C, e ad acquistare ben presto nel tubo la velocità che prima avea. A questo moto succede un nuovo chiudimento della valvola in C, ed aprimento della *d*, per cui s'introduce nuovo liquido nel tubo verticale EF. Ripetendosi in tal maniera i movimenti delle due valvole, l'acqua aumenta sempre più nel tubo EF e s'innalza ad un livello di parecchi metri, molto superiore a quello del vaso A, cui si dovrebbe mettere per la legge d'equilibrio nei tubi comunicanti (§. 511).

585. Sinora abbiamo veduto l'acqua comunicare col suo peso o colla percossa il moto ai corpi; si hanno effetti consimili se corpi in movimento vanno ad urtare l'acqua in quiete, la quale, per le leggi dell'urto (§. 470), reagisce contro il corpo urtante e tende a ribatterlo per la direzione contraria a quella con cui viene ad urtarlo. Ciò è appunto il caso delle palette applicate alle ruote dei battelli a va-

pore, e della spirale rilevata dell'elicoide applicata pure a somiglianti navigli. Le palette e la spirale urtano colle loro superficie l'acqua in quiete, questa è agitata bensì, ma reagisce, e nella reazione il moto si comunica al battello. È lo stesso effetto del remo sulla barca: l'uomo gl'imprime una certa velocità, colla quale percuote l'acqua in quiete, questa reagisce e in tale reazione la barca riceve il moto in direzione opposta a quella del remo, per cui viene continuato il cammino sull'acqua.

La reazione dei liquidi contro i corpi che in essi si muovono, è tanto più grande quanto più sono densi, perchè in questo caso riesce d'altrettanto più grande la loro massa e quindi la loro inerzia. Nelle scuole si dimostra questa verità con un semplicissimo esperimento istituito *coi pendoli per la resistenza dei mezzi*. Una cassetta divisa longitudinalmente in due parti da un diaframma, contiene nei scompartimenti due liquidi di diversa densità. Due pendoli, in tutto perfettamente eguali ed immersi per l'egual porzione, oscillano in quei liquidi: si trova che il pendolo, moventesi nel liquido più denso, vien ritardato e ridotto alla quiete più presto di quello che oscilla nel liquido meno denso. Da ciò si conchiude che il fluido di maggior densità oppone maggior resistenza al moto di quello di densità minore.

L'opposizione dei fluidi ai solidi, che in essi si muovono, segue in generale la grandezza delle superficie urtate, come si esperimenta col *mulinello*, che impareremo a conoscere nel capitolo seguente; ed inoltre si ritiene in ragione del quadrato della velocità; come si deduce da alcune sperienze sulla caduta dei gravi. In generale diremo che la reazione, provata dai solidi nel loro moto pei fluidi, si è chiamata *resistenza dei mezzi* (§. 469), della quale nella dinamica bisogna tener conto al pari degli altri ostacoli, che contrastano il moto (§§. 489, 497).

586. La perdita, provata da un solido che si muove in un fluido, si determina colle formole altrove dimostrate (§§. 229, 470), che danno la quantità di moto trasfusa dal corpo urtante nel fluido, che ad ogni istante viene rimosso.

Si comprenderà quindi come *di due corpi d'egual volume e figura e di diversa densità, che si muovono con eguali velocità iniziali in un mezzo resistente, il meno denso prova un ritardamento maggiore del più denso*. Imperocchè essi sposteranno coll'urto nel medesimo tempo eguali quantità di fluido resistente, per cui perderanno eguali quantità di moto. Ma questa quantità di moto deve dividersi nel

corpo meno denso sopra un numero minore di molecole materiali, le quali dovranno supplire con una perdita maggiore della loro velocità, per cui si produce in esse un ritardamento più grande che in quelle del corpo più denso, dove le molecole si trovano in maggior numero a superare l'eguale resistenza.

Una tale verità si rende chiara col calcolo. Infatti la quantità di moto perduta dal corpo nell'urtare il fluido in quiete è espressa (§. 229) da $\frac{MmV}{M+m}$, e la velocità perduta dai due solidi d'egual volume e figura è in generale $\frac{mV}{M+m}$, dove M dinota la massa del solido, m quella del fluido urtato o rimosso, e V la velocità del primo. Ora sia d la gravità specifica del fluido, cd quella del solido meno denso e $(c+n)d$ l'altra del solido più denso; chiamando A il volume eguale dei corpi, risulterà Ad la massa m del fluido urtato, ed Acd, $Ad(c+n)$ le masse rispettive dei due solidi. Si avranno quindi le velocità perdute dai due solidi nel loro moto, pel corpo meno denso $\frac{dAV}{Acd+Ad}$ e per quello più denso $\frac{dAV}{Ad(c+n)+Ad}$; ossia $\frac{V}{c+1}$ $\frac{V}{c+n+1}$. Dunque il corpo meno denso perdendo la velocità $\frac{V}{c+1}$ sarà più ritardato di quello più denso che perde minore velocità $\frac{V}{c+n+1}$.

587. Sia ora un corpo A che, moveudosi nell'aria colla velocità AC, passa obliquamente nell'acqua contenuta nel recipiente EF (fig. 200). Per vedere che avviene alla direzione del moto di A nel passaggio da un mezzo resistente in un altro, si decomponga la velocità AC nelle due BC, DC; la prima normale e la seconda parallela al piano tangente ai due fluidi. Le due componenti BC, DC, nel far movere il corpo A nell'acqua, trovano in questa una maggior resistenza che nell'aria di minor densità. Al momento che il corpo A tocca il liquido, l'aumento di resistenza è provato dalla sola componente BC, essendo diretta l'altra DC a far scorrere il corpo sulla superficie del secondo fluido. Una volta però che A abbia incominciato ad immergersi nel liquido, la BC prova una resistenza proporzionale alla superficie di combaciamento, e quando il corpo A si è internato in quel liquido sino alla massima sezione orizzontale, esso risente

da questa parte la maggior resistenza. La superficie urtante, nella direzione della componente DC, prova invece soltanto per porzione la resistenza dell'acqua, e la proverà interamente quando il corpo sarà del tutto sommerso nel nuovo fluido. Nel passaggio dunque dall'aria nell'acqua le due componenti BC, DC non solo diminuiscono per la resistenza maggiore che incontrano del fluido più denso, ma si altera il loro rapporto; talchè se la velocità BC diventa *b*C, DC diventerà *d*C, e lo scemamento della prima velocità sarà in proporzione più grande di quello provato dalla seconda. Componendo le due velocità così diminuite si avrà la risultante C*g*, la quale sarebbe porzione della CG nel caso che le due componenti diminuendo nelle loro grandezze non avessero alterato il loro rapporto. Per la maggior diminuzione di BC in confronto di DC. il punto *g* cade al disopra di CG, e la direzione del moto non riesce secondo CG, ma piega verso C*g*. Questa deviazione del corpo nel passare obliquamente da un mezzo in altro di diversa densità chiamasi *moto rifratto*. Se il fluido in cui passa il corpo A fosse meno denso di quello da cui esce, la rifrazione avrebbe luogo dalla parte opposta, come è facile di comprendere con un ragionamento consimile.

CAPITOLO TERZO

Delle proprietà dei corpi aeriformi.

588. Alla temperatura ordinaria i corpi per la maggior parte si trovano allo stato di solido, parecchi a quello di liquido, ed infine alcuni conservano lo stato aeriforme. Il calorico, come si disse, fa prendere ai solidi la liquidità e fa passare i liquidi in fluidi aeriformi. Non tutti i corpi però si fondono, nè si gassificano, nè evaporizzano allo stesso grado di temperatura. Vedremo, trattando del calorico, che parecchi solidi passano agli altri due stati soltanto in virtù dell'azione del fuoco il più intenso, che alcuni liquidi obbediscono più o meno difficilmente all'azione del calorico per essere trasformati in fluidi aeriformi, e così all'inverso. Gli aeriformi si sogliono pertanto distinguere in *permanenti* e *non permanenti*. I primi non cambiano stato a temperature molto basse, e sotto pressioni anche grandi; i secondi invece si liquefanno in causa d'una piccola sottrazione di calorico e sotto una lieve pressione. I fluidi permanenti si chiamano generalmente *gas*, e quelli non permanenti

vapori. Il grand'ammasso di fluido aeriforme, che circonda il pianeta su cui abitiamo e che costituisce l'atmosfera terrestre, è formato del fluido conosciuto sotto il nome d'*aria*, che appartiene alla classe dei gas. Aggiungiamo che nella classe dei vapori si annoverano gli *effluvii* e le *esalazioni* o le particelle esilissime, che si distaccano da corpi concreti e si diffondono in un modo somigliante nell'atmosfera. I vapori, come pure le esalazioni e gli effluvii divengono visibili nell'aria per una diminuzione più o meno grande di temperatura; in tal caso perdono parte della loro forza espansiva e formano delle goccioline o dei piccolissimi globi che, rimanendo sospesi ancora nell'aria, ne turbano la trasparenza.

Per l'addietro credevasi che, allo stato di gas, vi fosse in natura la sola aria; ma le successive scoperte della scienza hanno dimostrato l'esistenza di parecchi altri gas, che sono costituiti di sostanze affatto fra loro differenti e dotati di proprietà chimiche particolari. Per lo studio della nostra scienza non importa molto di conoscere la natura dei gas, dipendendo le loro proprietà fisiche dallo stato aeriforme, nel quale si mostrano eminentemente compressibili (§. 163) ed elastici (§. 169), e dotati d'un potere espansivo, per cui tendono a dilatarsi e ad invadere lo spazio, quando non si opponga loro verun ostacolo (§. 10).

I fluidi aeriformi in piccole masse sono pel maggior numero incolori ed invisibili, e sotto piccolo volume soltanto qualcheduno manifesta un colore particolare, come è del cloro che ha il color giallo-verdognolo allo stato nascente, ed il vapore d'iodio che è violaceo. L'aria e il vapor acqueo si presentano in generale al nostro occhio senza verun colore; ma l'aspetto ceruleo del cielo e l'azzurro, che ci comparisce da lungi, ci comprovano il color dell'aria e del vapor acqueo nel grande ammasso dell'atmosfera.

I gas sono parecchi di numero, ma, oltre l'aria, pochi in natura si trovano allo stato libero, essendo per lo più combinati con altre materie nei corpi solidi e liquidi. L'acido carbonico, l'idrogeno, il cloro e qualche altro sono quelli che talvolta allo stato libero s'incontrano nello spazio. Le indagini dei chimici hanno moltiplicato da pochi anni il numero dei gas, ricavandoli dai corpi dove entrano come componenti. Dei vapori poi il più sparso nell'atmosfera è quello acqueo; gli altri si riscontrano accidentalmente nel gran laboratorio della natura. L'aria è una mescolanza dei due gas ossigeno ed azoto, e costituisce, come si disse, il grande ammasso dell'atmosfera, che circonda la nostra terra sino ad una grande altezza, e

dove si solleva una prodigiosa quantità di vapori, che si formano sulle acque degli innumerevoli e grandiosi bacini d'acqua giacenti sulla superficie terrestre.

L'aria adunque unitamente al vapor acqueo sono di grande interessamento pel fisico. È in mezzo a quel fluido dove continuamente ci troviamo immersi e viviamo, che è necessario tanto alla vita degli animali quanto dei vegetali, che alimenta la combustione, che s'insinua in tutte le cavità e in tutti gli spazi vuoti di materie solide e liquide, che è annidato nei pori di tutti i corpi (§. 63) e che in corrente mette in moto i mulini a vento e fa trascorrere le navi e i bastimenti sui laghi e sui mari. È ad esso che confidiamo i pensieri, onde siano trasmessi alle persone circostanti mediante la parola, che ne è il segno, e che ci fa gustare le soavi melodie ed armonie dei suoni. L'aria col vapor acqueo hanno la massima parte d'azione nei fenomeni della natura, e sotto l'influenza di questi due fluidi si compiscono molte trasformazioni, succedono indefinite decomposizioni, e si elaborano parecchi prodotti naturali. L'atmosfera è la sede della grandine e del fulmine, e il veicolo del tuono. Dell'aria quindi ci occuperemo principalmente in un al vapor acqueo, che hanno comuni le loro proprietà fisiche e meccaniche cogli altri fluidi permanenti e non permanenti.

Nel far conoscere le proprietà dei fluidi aeriformi, e i fenomeni e gli effetti cui danno luogo, noi seguiremo lo stesso ordine dei fluidi liquidi (§. 500) e dei corpi solidi (§. 416), dividendo in due sezioni la fisica meccanica di quei fluidi o l'*aereomecanica*: cioè nell'*aereostatica* che tratta dell'equilibrio dei gas e dei vapori, e nell'*aereodinamica*, che si occupa di questi fluidi in movimento.

SEZIONE I.

Della statica degli aeriformi od aereostatica.

589. La statica dei fluidi aeriformi differisce da quella dei liquidi per essere i primi dotati di grande compressibilità ed elasticità e di espansibilità, essendo i secondi forniti in minimo grado di quelle due proprietà e non possedendo la terza di esse.

Gli antichi non conoscevano il peso dell'aria, e il volgo anche oggidì non ne ha una nozione ben chiara. Che qualche filosofo dell'antichità abbia congetturato, abbia detto, abbia scritto essere l'aria

pesante, noi nol vogliamo contraddire; ma che gli Aristotelici e qualche scienziato avanti Galilei ne avessero dato una prova di fatto, ne avessero mostrato il peso con un esperimento, non è dimostrato, nè viene da alcuno ammesso. Bacone da Verulamio era anzi inclinato a credere l'aria nè pesante nè leggiera, ma una sostanza media fra i corpi pesanti e leggieri. Il primo a dar una prova di fatto del peso dell'aria fu Galilei verso l'anno 1640, dal quale venne soltanto valutata 400 volte meno pesante dell'acqua. Egli si serviva d'un recipiente sferico, in cui condensava l'aria per mezzo d'una siringa pneumatica, e dall'aumento di peso deduceva quello dell'aria iniettata. Conoscendo poi la relazione fra la capacità del corpo della siringa e quella del recipiente, producendosi quell'aumento sotto un determinato numero d'iniezioni; Galilei aveva calcolato la densità dell'aria atmosferica alla pressione comune in confronto di quella dell'acqua. Si è con questo metodo grossolano ed inesatto. da cui dedusse il numero sumentovato per la densità dell'aria. Ma per quanto sia inesatto un tal metodo, l'esperimento di Galilei è uno di quelli che segnano un'epoca distinta nelle scienze di fatto, perchè mostrò, alla turba degli scolastici ed agli ingegni educati alle scuole peripatetiche, che bisognava ricorrere all'esperienza ed all'osservazione, e non perdersi in fantastiche speculazioni, per far progredire con passi sicuri ed importanti la filosofia naturale, e giungere a quella meta in cui, pei tanti lavori dei fisici posteriori educati alla scuola di Galilei, ci siamo di molto avvicinati.

590. Per le dimostrazioni dei fenomeni e degli effetti risguardanti i fluidi elastici, e per le leggi che se ne deducono è necessario conoscere dapprima la *machina pneumatica*, la quale è pei corpi aeriformi ciò che la bilancia idrostatica è pei liquidi (§. 502). Abbiamo già avuto l'occasione di adoperarla in alcune sperienze come mezzo di succhiare fuori l'aria da una data capacità, nello stesso modo che si farebbe colla bocca inspirandola nel polmone Qui dobbiamo conoscerne la costruzione in ogni sua parte, e mostrarne la maniera d'agire. Essa serve, come già sappiamo, ad estrarre l'aria dagli spazii rinchiusi ed a fare in essi il vuoto, e la prima idea di questo apparato devesi ad Ottone Guericke di Magdeburgo, che la imaginò dieci anni dopo che Galilei aveva dimostrato il peso dell'aria. Gli accademici del Cimento, prima di questa invenzione, facevano il vuoto servendosi del mercurio come nell'esperienza di Torricelli altrove citata (§. 139), di cui quanto prima ci occuperemo.

La machina pneumatica è composta di un cilindro cavo AB di

metallo o di cristallo detto corpo di tromba (fig. 201), nel quale può essere mosso uno stantuffo ad esatto combaciamento colle sue pareti, per cui il cilindro deve in tutta la sua lunghezza essere ben calibro. Lo stantuffo è traforato nel suo asse e porta ordinariamente una valvola a linguetta od animella (§. 566). Il corpo di tromba è obbligato verticalmente sopra un tavolinetto ed in comunicazione col canaletto o tubo orizzontale *mo* per mezzo della valvola a cono *y*, la quale è attaccata ad una asticella metallica, che si muove collo stantuffo. Il tubo è incassato nella grossezza del tavolino ed è congiunto verso il suo mezzo *c* con un corto cannello, che sorge nel centro d'un piatto circolare levigatissimo. Su questo piatto si colloca ad esatto combaciamento il recipiente, in cui si deve fare il vuoto. I recipienti D per le sperienze sono comunemente di cristallo di forma simile ad una campana, e variano in grandezza secondo le sperienze da esser istituite. In ogni caso il recipiente termina in un grosso orlo ben appianato e smerigliato per conseguire un esatto combaciamento col piatto ed impedire l'adito all'aria. I recipienti d'altra forma portano una tubulatura metallica intagliata a vite, con cui si possono esattamente congiungere al cannello *c* pure fatto a vite. Lo stantuffo s'innalza e si abbassa nel cilindro AB col far girare mediante la manovella S la ruota *a*, i cui denti imboccano con quelli dello stelo *ab* dello stantuffo medesimo. Mediante la chiavetta *q*, applicata al canaletto orizzontale *mo*, si può togliere la comunicazione fra il cilindro AB e il recipiente D.

Ciò posto, mettiamo in azione la machina per estrarre l'aria dal recipiente D. Lo stantuffo, nell'essere innalzato, lascia un vuoto dietro di sè, non potendo l'aria esterna introdursi pel foro di esso, per l'impedimento dell'animella *x*, la quale anzi viene premuta contro il piano e meglio chiusa. L'aria del recipiente D, in virtù della sua espansibilità, s'introduce pel pertugio della valvola *y*, e si distribuisce uniformemente nello spazio rimasto vuoto nel corpo di tromba. Abbassando poscia lo stantuffo, l'aria, che si è introdotta nel cilindro, viene ad essere compressa, e non può rientrare nel recipiente D per esser chiusa la valvola *y*; per cui sforza la valvola *x*, la solleva e si disperde nell'atmosfera. Ripetendo questi innalzamenti ed abbassamenti dello stantuffo, si estrae nuova aria dalla campana D, nella quale si rarefà sempre più ad ogni estrazione.

La machina pneumatica descritta è sotto ogni rapporto già molto più perfezionata di quella imaginata da Guericke. Primieramente diremo che, invece d'un solo corpo di tromba, ve ne sono due col

rispettivo stantuffo; talchè si ha nello stesso tempo un doppio effetto. La machina pneumatica a due corpi di tromba è rappresentata nella figura 202, dove in M si vede una piccola campana in cui sta rinchiuso il *provino* consistente in un tubo ripiegato parallelamente a se stesso, che indica il grado di rarefazione dell'aria nel recipiente D per mezzo di colonne di mercurio. Vedesi inoltre indicato con punti il canaletto *mnco*, che mette in comunicazione i due corpi di tromba e il provino col recipiente D. La chiavetta, per togliere la comunicazione del recipiente D coi due cilindri, è indicata in *q*, e rappresentata più in grande in Q, dove si vede il foro per cui vien fatta quella comunicazione, e come questa si toglie girandola, e facendo corrispondere col canaletto, che parte da c, il foro laterale, pel quale attraverso alla chiavetta medesima il recipiente corrisponde coll'atmosfera esterna. In secondo luogo la valvola *y* (fig. 201), invece di essere sollevata dall'espansibilità dell'aria come nelle antiche, viene aperta dalla verghetta cilindrica, che va ad esatto sfregamento dentro un'apertura praticata nello stantuffo medesimo.

Vi resta però sempre la linguetta od animella *x*, che viene aperta dall'elasticità dell'aria compressa nel corpo di tromba dallo stantuffo. La quale elasticità, verso gli ultimi gradi di rarefazione, è così debole che, sebbene, condensata, non giunge a vincere il peso e l'adesione della valvola e la pressione dell'atmosfera esterna; perciò, a malgrado si seguiti ad agire colla machina, la rarefazione non progredisce più oltre. A questa imperfezione è stato rimediato in due modi differenti, coi quali si raggiunge una maggiore rarefazione. Giunta la rarefazione ad un certo grado, il professore Belli ha praticato alcune aperture per le quali, mentre con uno stantuffo si seguita ad estrarre nuova aria dal recipiente pneumatico e a richiamarla nel corrispondente corpo di tromba, coll'altro si fa il vuoto nel secondo corpo di tromba e si dispone così a ricevere più facilmente l'aria estratta dal primo. In tal modo non si ha più a vincere la pressione dell'atmosfera esterna per disperdere in essa l'aria estratta (1). Per comprendere questo miglioramento della machina pneumatica osserviamo la fig. 203. Essa si compone di due parti l'una M, in cui i condotti dell'aria sono disposti per far agire la machina alla maniera ordinaria; l'altra N, nella quale i tubi di comunicazione

(1) Pel congegno, di cui qui è discorso, si vegga il *Giornale di fisica, chimica* ecc. di Brugnatelli, tom. X, pag. 436, Pavia 1827.

sono aperti per l'estrazione dell'aria dal recipiente con un solo corpo di tromba, mentre l'altro stantuffo prepara il vuoto nel secondo corpo di tromba, onde ricevere dal primo l'aria estratta. Il corpo di tromba *a'b'c'd'* estrae l'aria dal recipiente pneumatico e l'altro A'B'C'D' la riceve. Il canaletto *hgfe* mette in comunicazione col cilindro estrattore il recipiente applicato sul piatto della machina, nel cui centro sorge coll'estremità *h*; e il canaletto *sno* conduce l'aria dal cilindro estrattore al corpo di tromba disposto ad accoglierla. In *r* vi ha una chiavetta, la quale nella posizione della parte M intercetta la comunicazione fra i due corpi di tromba *abcd*, ABCD e lascia libera quella col recipiente pel canaletto *hgmno*.

Mettendo dunque in azione la machina colla disposizione M, i corpi di tromba sono ambidue in comunicazione diretta col canaletto *fgh* e quindi col recipiente pneumatico da vuotarsi. Ma girando d'un quarto di cerchio la chiavetta *r*, le comunicazioni si cambiano e si ha la disposizione N, nella quale il cilindro *a'b'c'd'* estrae l'aria dal recipiente pel canaletto *hgfe*, e la spinge, coll'abbassarsi dello stantuffo, nell'altro cilindro A'B'C'D' pel canaletto *sno*, già disposto a riceverla per essersi in esso preparato il vuoto coll'innalzamento del proprio stantuffo. Ripetendo i movimenti dei due stantuffi, si seguita nello stesso modo a vuotare d'aria il recipiente.

Il meccanico Dell'Acqua ha cambiato l'animella dello stantuffo in valvola conica, la quale è aperta da un congegno come quella, che è applicata al foro di comunicazione fra il corpo di tromba e il recipiente pneumatico (1). Sia AB la sezione verticale del corpo di tromba (fig. 204), *y* la valvola di comunicazione col recipiente, *d* la valvola dello stantuffo; quest'ultima è congiunta con una verghetta che s'innalza, e termina in un collarino *e*, sotto il quale si trova uno dei bracci delle due leve *g*, *g*. Lo stelo M porta inferiormente due appendici *f*, *f*, le quali vanno a premere sull'altro braccio delle leve *g*, *g*, ed ha inoltre un dente *h*. Innalzando lo stantuffo, viene aperta nel modo solito la valvola *y*, mentre la *d* è tenuta chiusa dalla molletta a spirale; talchè l'aria dal recipiente si diffonde in parte nel corpo di tromba. Giunto lo stantuffo alla sua massima elevazione, il dente *h* urta in un braccio della leva K, la quale coll'altro braccio preme sull'asticella l*y*, con cui si prepara chiusa la valvola *y*. Dopo ciò lo stantuffo si abbassa, condensa l'aria entrata nel corpo di tromba, e colle appendici *f*, *f* preme sulle leve *g*, *g*, che aprono la

(1) Vedi *Annali di fisica* di Majocchi, tom. XVII, pag. 320

valvola d per lasciare sortire l'aria compressa nel corpo di tromba. Con questo ingegnoso ordigno la valvola dello stantuffo non è più aperta in virtù dell'elasticità dell'aria entrata nel corpo di tromba, e non si ha più a vincere l'inerzia della linguetta o dell'animella delle machine pneumatiche comuni, nè l' adesione della medesima col piano su cui appoggia. Bisogna però che quest'aria, già per se stessa molto rarefatta, sia ristretta in uno spazio così angusto e condensata a tal grado da superare quella dell'atmosfera e disperdersi in essa. Importa dunque in questa modificazione che il piano inferiore dello stantuffo si avvicini più che sia possibile a combaciare col fondo del corpo di tromba. Nella modificazione di Belli invece non si richiede questo condensamento, dove l'aria si getta in uno spazio vuoto. È per tali ragioni che non si saprebbe ben decidere se riesca più utile l'una o l'altra delle modificazioni per ottenere un vuoto più perfetto. Ma, come bene riflette il Dell'Acqua, si potrebbe combinare l'una coll'altra ed ottenere così un miglior vantaggio.

591. Le machine pneumatiche ordinarie con una sola valvola meccanica danno il vuoto a circa 4 millimetri, vale a dire producono una rarefazione dell'aria nel recipiente, la quale colla sua elasticità, invece di far equilibrio con una colonna di mercurio di 760 millimetri od una atmosfera, ne equilibra soltanto 4. Colla descritta modificazione il prof. Belli ha portato la rarefazione a meno di millimetri 3, 5; ma le buone machine pneumatiche con un consimile congegno la portano a 2 millimetri, e quando sono di recente preparate e disposte nelle loro parti anche a qualche cosa meno di millimetri 1, 7, come ha ottenuto Dell'Acqua colla valvola meccanica applicata allo stantuffo.

Per quanto siano ingegnose le disposizioni delle parti della machina pneumatica ed esatta la sua costruzione, è facile convincersi che non si potrà mai pervenire con essa ad ottenere uno spazio perfettamente vuoto di materie ponderabili, ma soltanto ridurre l'aria residua a tale rarefazione, che si può ritenere lo spazio come vuoto. Sia infatti m la capacità del recipiente pneumatico, ed n quella del corpo di tromba, ed inoltre sia a la quantità d'aria contenuta nel recipiente medesimo. Al primo innalzamento dello stantuffo, la quantità d'aria a si distribuisce uniformemente nello spazio $m+n$, per cui quella rimasta nella capacità m si avrà dalla proporzione: $m+n : m :: a : x = \frac{am}{m+n}$. Dopo il secondo innalzamento dello stantuffo si troverà nello stesso modo che l'aria rimasta nel recipiente

è espressa da $\frac{am^2}{(m+n)^2}$, dopo il terzo colpo da $\frac{am^3}{(m+n)^3}$, dopo il quarto da $\frac{am^4}{(m+n)^4}$, e dopo il numero di colpi c da $\frac{am_c}{(m+n)^c}$. La quale espressione non può mai diventare zero per quanto si moltiplichi il numero c dei colpi dello stantuffo, e quindi non si giungerà mai a fare un vuoto perfetto; apprendendosi altresì da essa che la diminuzione riuscirà tanto più rapida quanto più è grande la capacità n del corpo di tromba.

592. Il peso dell'aria era già stato provato, come si disse, da Galilei; ma col sussidio della machina pneumatica si può determinarlo più esattamente al pari di quello di qualunque altro fluido aeriforme. Per provare questa importante verità nella scuola, si prende il pallone A di vetro o di rame del diametro di alcuni decimetri (fig. 205), e munito della tubulatura di metallo *ab* colla chiavetta *c*. Si obbliga a vite per l'estremità *a* della tubulatura al tubo sporgente nel centro del piatto della machina pneumatica, e se ne estrae l'aria. Chiusa la chiavetta *c*, si sospende il pallone all'estremità del fusto d'una buona bilancia, e si trova che per equilibrarlo abbisognano sul bacino minori pesi di prima, e che quindi è scemato di peso. È chiaro che lo scemamento indicherà il peso dell'aria estratta. L'equilibrio coi pesi primitivi viene ripristinato se, aprendo la chiavetta, si lascia rientrare l'aria a riempirlo di nuovo. Aprendo ad intervalli la chiavetta prima di lasciar entrare tutta l'aria nel pallone, si può mostrare che cresce successivamente di peso, ed aver la misura dell'aria introdotta. Nella stessa maniera si dimostra il peso di qualunque altro gas, e si prova che tutti i fluidi aeriformi riescono sensibili per la loro gravità, e quindi sono stati posti nella classe dei *corpi ponderabili*. Operando con un pallone della capacità di 10 decimetri cubici, il peso di questo volume d'aria alla pressione ordinaria risulta maggiore di un decagrammo.

593. Quantunque da Galilei fosse già stato stabilito il peso dell'aria e ne conseguisse quindi la pressione dell'atmosfera sui corpi; tuttavolta l'ascensione dell'acqua nei cannelli, da cui si succhia fuori l'aria, e nei tubi delle trombe aspiranti si attribuiva ancora alla causa imaginaria dell'*orrore della natura pel vuoto*. Si racconta che alcuni fontanieri di Cosimo de' Medici di Toscana ebbero occasione di fabbricare delle trombe per elevare l'acqua ad altezze maggiori dell'ordinaria; e nell'atto di farle agire, incontrarono con loro sor-

presa che quel liquido non saliva più in là di 10 metri, a malgrado proseguissero a muovere lo stantuffo ed a fare il vuoto. Ricorsero quindi a Galilei e si dice che egli si limitò a dir loro che la natura aveva in orrore il vuoto sino ad un certo punto. Pretendesi altresì che il celebre Italiano avesse meditato sul fenomeno e ne avesse interpretata la causa nella pressione dell'aria; e credesse meglio di dare ai fontanieri quella risposta, che di avventurare la sua idea senza argomenti per convalidarla. Dicesi infine che Galilei, già vecchio, incaricasse il suo discepolo Torricelli di esaminare attentamente il fenomeno, confidandogli la sua idea. Questi, sulle orme del suo precettore, con un esperimento, per quanto semplice d'altrettanto ingegnoso, mise in chiara luce il sospetto di quel venerando Italiano, e segnò una nuova epoca per la fisica.

Pel principio che i fluidi eterogenei in equilibrio nei tubi comunicanti si mettono ad altezze in ragion reciproca delle loro densità (§. 512), Torricelli concepì il felice pensiero che, quando l'innalzamento dell'acqua nei tubi delle trombe dipenda dalla pressione dell'aria, variando il liquido deve variare del pari l'altezza, cui viene sollevato dalla pressione della stessa atmosfera. Talchè, se l'acqua s'innalza di 10 metri, il mercurio quasi 14 volte più denso s'eleverà ad un'altezza 14 volte minore. Il suo ragionamento fu confermato dal celebre sperimento seguente, istituito per la prima volta nell'anno 1643.

Prese un tubo *ab* di vetro della lunghezza di poco minore di un metro e del diametro almeno di 6 in 7 millimetri (fig. 206) chiuso in *a* ed aperto in *b*, e lo riempì esattamente di mercurio. Con un dito ne turò l'apertura, lo capovolse e lo immerse per questa estremità in altro mercurio contenuto nella vaschetta V, levando il dito quando l'estremità era interamente sommersa nel liquido. Il mercurio discese nel tubo sino in *d* fermandosi all'altezza *bd*, che aveva con quella, ove si era arrestata l'acqua nei tubi dei fontanieri, un rapporto inverso alla densità dei due liquidi. Le sue deduzioni furono in tal modo avverate, e questo apparato nella sua semplicità chiamasi *tubo torricelliano*, e lo spazio vuoto *ad*, che il mercurio lascia nell'alto del tubo dicesi *vuoto torricelliano* per distinguerlo dal *vuoto pneumatico*, che si ottiene colla machina superiormente descritta.

594. Il principio della pressione atmosferica stabilito da Torricelli è di tale importanza per la fisica, ha un'influenza così grande sui fenomeni della natura e sugli effetti dell'arte, che si cercò in diverse maniere di applicarlo ed ottenerne con nuovi fatti la conferma.

Digitized by Google

L'atmosfera preme sui corpi terrestri col peso di colonne d'aria, che hanno la loro base sulla superficie del nostro globo e terminano ove ha fine l'atmosfera medesima. Ne veniva dunque che, elevandosi sui monti, si diminuirebbe una tale pressione, e il mercurio nel tubo torricelliano dovrebbe abbassarsi per essere levato tutto il peso della colonna d'aria, che resta al disotto del monte. Pascal verificò questa deduzione tre anni dopo la scoperta di Torricelli, elevandosi sulla montagna Puy-de-Dome, e trovò infatti che, a misura s'innalzava, il mercurio nel tubo discendeva, avendo riscontrato dal piede di quel monte alla sua cima la differenza di circa 8 centimetri nell'elevazione del mercurio nel tubo.

Dopo che l'esperimento di Torricelli venne ripetuto in diversi luoghi e da parecchi fisici, non vi era chi ponesse in dubbio la pressione dell'atmosfera come causa dell'elevazione del mercurio nell'esperimento medesimo e dell'acqua nei tubi d'aspirazione delle trombe; tuttavolta, a confermare la scoperta del fisico italiano, venne l'invenzione della machina pneumatica. Si collocò il tubo torricelliano sul piatto della machina medesima e si coperse con un secondo tubo più grande, da cui si estraeva l'aria. Si mise anche in comunicazione col recipiente pneumatico un tubo per una sua estremità incurvato mentre coll'altra pescava nel mercurio contenuto in un vaso esterno. A misura che si estraeva l'aria, il mercurio discendeva nel tubo torricelliano e saliva nell'altro tubo immerso nel liquido esposto all'aria esterna. Nel primo esperimento si toglieva la pressione dell'aria, per cui il mercurio stava elevato nel tubo, e quindi il liquido si abbassava; nel secondo si levava la pressione dell'aria nel recipiente, e quindi il mercurio era innalzato nel tubo per la pressione dell'atmosfera. Per istituire questa sperienza nella scuola, si prende un tubo di vetro a grosse pareti della forma di tronco di cono V (fig. 207) cogli orli ben appianati e smerigliati in modo che combaci esattamente col piatto *ef* della machina pneumatica. Un disco *mn*, fatto di grossa lastra d'ottone ben pulito e piano, tiene infisso verso il suo centro il tubo torricelliano *ab*, e copre il vaso conico V in modo che il tubo stesso pesca nel mercurio contenuto nella vaschetta P, che tiene congiunta per mezzo di fili metallici. Il liquido è elevato sino in *d* per la pressione atmosferica. A misura che si estrae l'aria dalla capacità V, il mercurio si abbassa, e l'abbassamento è tanto più grande quanto più si spinge avanti la rarefazione. Introducendo di nuovo l'aria nel vaso V, il mercurio ritorna alla primitiva altezza *d*.

595. Da quanto si è riferito si deduce che per l'atmosfera tutti i corpi terrestri sono premuti, e questa pressione equivale al peso di una colonna di mercurio, che abbia per base la superficie orizzontale del corpo e per altezza quella che si osserva nel tubo torricelliano. I corpi, collocati sopra luoghi eminenti ed elevati più o meno sul suolo, proveranno minor pressione di quelli situati al basso. Al livello del mare l'altezza media del mercurio in quel tubo è di 760 millimetri; talchè, contando dal livello del mare, *la pressione d'un'atmosfera è eguale al peso del prisma di mercurio, che ha per base la superficie premuta e per altezza 760 millimetri.*

Sopra un centimetro quadrato dunque la pressione al livello del mare sarà equivalente al peso di 76 centimetri cubici di mercurio. Ora questo liquido ha per densità 13,59593 a zero gradi del termometro in confronto dell'acqua al suo massimo di densità (1); perciò la pressione d'un'atmosfera riesce equivalente al peso di centimetri cubici 1033,29068 d'acqua, ossia chilogrammi 1,03329068, o prossimamente chilogrammi 1,0333. Con questo dato si potrà valutare la pressione esercitata dall'atmosfera su qualunque superficie al livello del mare, e basterà a tal'uopo moltiplicare la sua estensione, espressa in centimetri quadrati, per 1,0333, il prodotto darà per la medesima altrettanti chilogrammi. Pei luoghi più elevati del livello del mare o per qualche circostanza sotto minor pressione, bisognerà in ogni caso determinare l'altezza, cui si mette il mercurio nel tubo di Torricelli.

Apprendiamo ora meglio come il tubo d'aspirazione delle trombe deve avere diversa lunghezza secondo l'elevazione dei luoghi, dove la tromba viene attivata (§. 569). Parimenti intenderemo come la pressione dell'aria faccia trapelare il mercurio a traverso i pori del legno (§. 61).

596. La pressione dell'aria e il vuoto ottenuto colla machina pneumatica invogliarono ovunque ad istituire nuove sperienze, a cimentare la natura in diverse maniere. Il vuoto era in quei tempi cosa nuova: qualche filosofo dell'antichità lo credeva possibile; ma avanti Torricelli nessuno giunse ad ottenerlo. Nello spazio vuoto del tubo di questo illustre Italiano; gli academici del Cimento intrapresero sperienze diverse ed ingegnose per quei tempi; ma la machina pneumatica prestò il mezzo di fare a piacere il vuoto in grandi spazi e di sottoporvi animali, piante, e corpi d'ogni specie. Fra una gran

(1) Vedi la seconda serie degli *Annali di fisica* ecc., tom. I, pag. 333.

moltiplicità di tal sorta di sperienze, noi qui rammenteremo quelle che dipendono immediatamente dal principio torricelliano e ne sono nello stesso tempo la conferma.

Si prenda un tronco di cono cavo simile a quello adoprato per la sperienza della fig. 207, paragrafo 594, e si chiuda superiormente con una lastra di vetro o con qualche altra lamina sottile, oppure con una pelle di vescica, con una mela e simili, in modo però che vi abbia esatto combaciamento con l'orlo del recipiente, che a tale scopo si spalma con un poco di mantecca: facendo il vuoto, si leva la pressione interna, e la pressione dell'aria superiore gravita con tutto il suo peso sul corpo otturatore, lo incurva da principio rendendolo da piano concavo, ed infine lo spezza o lo lacera, o lo divide. Se il chiudimento si fa col palmo della mano, la pressione si esercita con tale forza che l'individuo non può più liberarsene, e resta in certa qual maniera come vincolato alla machina in virtù del principio scoperto dalla scienza; ed è per tal ragione che, dai dotti di quel tempo, ricevette il nome di sperimento del *ceppo filosofico*.

Nello spezzarsi della lastra di vetro o della membrana si osserva che, quando la rarefazione sia protratta e la rottura sia subitanea, l'aria esterna, precipitandosi a riempiere il vuoto, genera un rumore somigliante a quello dell'esplosione d'un'arma da fuoco. Molti altri effetti si producono colla machina pneumatica, sui quali ritorneremo dopo che avremo fatto conoscere la pressione per ogni verso esercitata dai fluidi aeriformi al pari di quelli liquidi.

597. Abbiamo già detto che i fluidi aeriformi sono eminentemente elastici e compressibili; ed ora presenteremo qualche prova sperimentale di tale proprietà. Un pallone, una vescica ripiena d'aria rimbalza gettata contro un piano irremovibile, dove si comprime e si restituisce poscia colle sue parti alla primitiva forma per l'elasticità. Lo stantuffo d'una siringa, che vada ad esatto combaciamento e di cui siasi chiuso il foro del cannello, rimbalza quando sia percosso; e ciò in virtù della compressibilità ed elasticità dell'aria rinchiusa nella siringa medesima. L'espansibilità dei fluidi aeriformi si riduce alla loro elasticità esercitata sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera; e la vescica avvizza, con cui si è dimostrata questa espansibilità (§. 10), si può racchiudere in una scatola aggravata sul coperchio di pesi, e porre sotto il recipiente pneumatico: a misura che si estrae l'aria, l'elasticità rimane libera nella sua azione, gonfia la vescica e solleva il coperchio coi pesi.

L'elasticità dell'aria si dimostra eziandio con un'esperienza, nella

quale si riconosce poscia l'effetto della pressione atmosferica. Una boccia capovolta s'immerge pel collo nell'acqua contenuta in un vaso, e si colloca sotto il recipiente pneumatico. A misura che si fa il vuoto, l'aria contenuta nella boccia spiega la sua elasticità rimasta libera, spinge l'acqua introdottasi nel collo e si fa strada attraverso al liquido diffondendosi nel recipiente. Lasciando in seguito rientrare l'aria nella campana pneumatica, ritorna la pressione sull'acqua, la quale è obbligata ad ascendere pel collo della boccia e ad occuparne la capacità abbandonata dall'aria per la sua elasticità. Quest'elasticità si può misurare con colonne di mercurio come la pressione nella sperienza di Torricelli. Un vasetto di cristallo di forma sferica contiene in parte del mercurio, ed al suo collo tiene assicurata una viera d'ottone con un foro a vite, a cui si adatta una specie di tappo dello stesso metallo, che è trapassato nel suo asse da un tubo di vetro, il quale internamente giunge quasi sino al fondo del vaso. Si colloca l'*apparato per la misura dell'elasticità dell'aria* sul piatto della machina pneumatica, e si ricopre con un'alta campana di vetro. Estraendo l'aria della campana, quella rinchiusa nel vasetto si dilata e per la sua elasticità preme sulla superficie del mercurio, e l'obbliga ad innalzarsi nel tubo. L'innalzamento del liquido nel tubo è tanto più grande, quanto più è rarefatta l'aria nella campana, cioè quanto più si rende libera l'elasticità dell'aria rinchiusa nel vasetto. La colonna di liquido così innalzata misura l'elasticità spiegata dall'aria, la quale sarebbe eguale alla pressione dell'atmosfera, da cui era prima aggravata, se si potesse praticare nella campana il vuoto perfetto, e se l'aria rinchiusa nel vasetto non venisse ad occupare uno spazio maggiore, rarefacendosi così e scemandosi colla rarefazione l'elasticità.

598. Dall'elasticità dell'aria dipendono immediatamente i fenomeni seguenti: lo spezzarsi d'un'ampolla a sottili pareti di vetro, ben chiusa e posta nel vuoto pneumatico; la schiuma che si è veduto formarsi sui liquidi viscosi (§§. 64 e 500); l'emissione dell'aria annidata nei pori dei solidi, che comparisce alla loro superficie e si mostra nell'acqua dove sono sommersi (§. 63); la perdita delle grinze dei granelli d'uva e delle frutta appassite sotto il recipiente pneumatico, da cui si estrae l'aria. L'uovo contiene dei fluidi aeriformi, i quali spiegano la loro elasticità quando si leva la pressione dell'aria esterna; ed è perciò che un uovo, operando opportunamente, si può vuotare in parte delle materie liquide che contiene, facendole passare per un foro fatto con uno spilletto nel guscio. Nelle coppette

delle ventose l'aria si riscalda e la si espelle in parte da esse, poscia si chiudono contro la cute dall'atmosfera e rimane nella loro capacità un'aria rarefatta, la quale lascia agire l'elasticità dei fluidi interni, che facilita l'uscita del sangue per i tagli fatti sul dorso dell'ammalato. Ed è per la stessa cagione che alcune persone, salite a grandi altezze nei palloni aereostatici, hanno emesso sangue dalle labbra, dalle gengive e dagli occhi. Parimenti per la rottura di qualche vaso o viscere, prodotta dalla subitanea espansibilità dei fluidi aeriformi rinchiusi negli organi, gli animali posti nel vuoto soccombono e rimangono privi di vita a malgrado che tosto si restituisca loro l'aria.

399. I fluidi aeriformi hanno le loro molecole indipendenti le une dalle altre di più dei liquidi, per essere essi anzi dotati, come si è veduto, del potere espansivo prodotto dalla prevalenza del calorico sulla coesione. Appunto perciò in questi fluidi si verifica in un modo più perfetto il *principio dell'eguaglianza di pressione* dimostrato pei liquidi (§. 303), il quale unitamente alla compressibilità ed espansibilità diventa il fondamento dell'aereostatica. Una forza dunque, esercitata in qualsiasi punto, per qualunque parte sopra una massa aeriforme, si trasmette egualmente per ogni verso e produce nelle sue molecole uno sforzo diretto ad espandersi, il quale viene eliso dall'opposizione delle pareti dei vasi, in cui sono rinchiusi. Siccome i fluidi aeriformi sono pesanti al pari dei liquidi; così ess trasmettono come questi la pressione della gravità degli strati superiori sugli inferiori (§. 304), e questa trasmissione succede pure per ogni verso. Si potrebbero qui ripetere tutti i ragionamenti e tutte le sperienze addotte pei liquidi in prova del principio dell'eguaglianza di pressione, applicabile eziandio agli aeriformi. I fenomeni che abbiamo veduto pei primi fluidi si riproducono pei secondi; e se i recipienti in cui si contengono sono muniti di tappi o di stantuffi, questi proveranno la pressione, che è esercitata su qualunque parte della massa fluida.

I fluidi aeriformi però sono forniti d'un poter espansivo, che tende incessantemente a far loro occupare uno spazio maggiore. Una molla d'acciaio non manifesta la sua elasticità allo stato ordinario, e la spiega soltanto quando è compressa, perdendola tosto che ritorna allo stato primitivo. Lo stesso è di qualunque altro corpo solido, di qualunque liquido; quando invece i fluidi aeriformi sono sempre in un continuo stato di tensione, e per essi non vi ha volume o figura primitiva, perchè tendono sempre ad occuparne uno maggiore ed a

Digitized by Google

prendere quella determinata dalle pareti da cui sono ritenuti nello spazio. Un decimetro cubico d'aria o di altro fluido elastico, introdotto in uno spazio vuoto di parecchie centinaia di metri cubici, si spanderebbe in tutta quella capacità, ne premerebbe le pareti in ogni verso, facendo uno sforzo per allargarsi ancor più e diffondersi in uno maggiore. L'aria e qualunque altro gas rinchiuso in un vaso esercita uno sforzo sulle pareti, le quali devono essere abbastanza resistenti per eliderlo, quando non siavi esternamente una pressione contraria, da cui sia equilibrato. Un foro praticato nel vaso darà adito a quel fluido di sfuggire nel vuoto fatto all'intorno di esso, e l'uscita succede quand'anche il foro sia fatto nella parete superiore, e ciò a differenza dei liquidi, i quali non zampillano per gli orifizii praticati sul coperchio dei vasi, se non quando sono premuti da qualche forza. E se i vasi, dove non sianvi materie solide o liquide, si trovano pieni d'aria, si è per la ragione della pressione atmosferica circostante, che ne contrasta l'espansibilità ed impedisce a quel fluido di allargarsi e diffondersi in uno spazio più grande.

600. Sperienze dirette provano d'altronde la pressione dell'aria per ogni verso. Il tubo torricelliano dimostra la pressione dell'aria dall'alto al basso; l'esperienza del ceppo filosofico e le altre consimili (§. 596) succedono eziandio quando il vaso è comunque inclinato e ben anche capovolto, e dimostrano quindi la pressione prodotta dall'atmosfera per ogni verso. Due emisferi cavi A, B (fig. 208) si congiungono esattamente pei loro orli e formano una capacità a tenuta d'aria, la quale si vuota applicandola per la vite *a* al tubo centrale della machina pneumatica. Si chiude la capacità colla chiavetta C, e si leva l'apparato, il quale per essere disgiunto nelle sue parti richiede uno sforzo più o meno grande secondo il grado di rarefazione dell'aria rimasta nella capacità, e ciò qualunque sia la posizione in cui si tiene. La pressione dell'atmosfera si esercita sempre egualmente sulla superficie esterna degli emisferi, li tiene fra loro aderenti e dimostra così la pressione per ogni verso. Il congegno per tale sperienza è stato imaginato dall'inventore stesso della machina pneumatica, ed è conosciuto sotto il nome di *apparato degli emisferi magdeburgici*. I due emisferi si separano facilmente quando non è stata rarefatta l'aria nel loro interno; e lo sforzo per separarli, quando l'aria è rarefatta, si valuta secondo le norme superiormente dichiarate (§. 595). Comprenderemo ora meglio come dapprima siasi avuto il sospetto dell'influenza della pressione atmosferica

sugli sperimenti riportati in prova dell'adesione, e la necessità di farne la prova nel vuoto (§. 80).

La pressione laterale dell'atmosfera si dimostra nelle scuole con una boccia, che si può chiudere esattamente con un tappo smerigliato ed ha applicato sulla sua parete un piccolo tubo d'ottone. Riempiuta d'acqua e chiusa col tappo, se si apre il foro del tubetto l'acqua non esce per la pressione atmosferica sul foro stesso. L'uscita avrebbe luogo se potessero formarsi due correnti; l'una d'aria che entra nella boccia e l'altra d'acqua che ne esce. Lo stesso avviene colla boccia munita d'un piccolo foro sul fondo, per dove l'acqua non può uscire per la pressione dell'atmosfera dal basso all'alto.

Si prova contemporaneamente la pressione all'ingiù ed all'insù dell'atmosfera con un esperimento istituito mediante il *tubo di Pascal* rappresentato nella fig. 209. I due rami *ab*, *cd* sono di lunghezza eguale al tubo di Torricelli, l'apertura *f* del rigonfiamento con cui sono riuniti è chiusa per mezzo d'una membrana animale legata al suo orlo. Il tubo s'empisce interamente di mercurio e, turato col dito per l'estremità aperta *a*, s'immerge per questa nel vaso V, come nell'esperienza di Torricelli (§. 593). Il ramo superiore *cd* si vuota interamente di mercurio, rimanendone porzione sino al livello *ef* della capacità della vaschetta, mentre nell'altro ramo *ab* rimane il liquido sino all'altezza *ah*, come nell'esperimento torricelliano. Facendo un foro con uno spilletto nella membrana *f*, l'aria preme sul mercurio della vaschetta e lo obbliga a salire sino in *g* nel tubo *cd* rimasto vuoto, mentre discende nel tubo *ab* abbassandosi dal livello *h* sino a quello del vaso V. La pressione dunque dell'atmosfera, pel foro fatto collo spilletto, è diretta dal basso all'alto nel tubo *cd*, e dall'alto al basso nell'altro *ab*.

601. Parecchi altri fenomeni dipendono dalla pressione per ogni verso dell'atmosfera e nello stesso tempo la confermano. Se ad un bicchiere pieno interamente d'acqua si adatti un pezzo di carta chiudendolo esattamente in modo, che non vi resti veruna bolla d'aria, e poscia si rivolga colla bocca all'ingiù; l'acqua non cade quantunque ne sia levata la mano, che teneva aderente la carta all'orlo del bicchiere, e ciò in causa della pressione dell'aria dal basso all'alto. Il liquido si sostiene nell'assaggiatore per la medesima cagione (§. 576); come pure non sorte il vino pel cannello della botte, quando è chiuso esattamente il foro del cocchiume. E appunto per tal ragione che nei coperchi delle caffettiere, chiuse ad esatto combaciamento, si pratica un foro per equilibrare la pressione

atmosferica sull'apertura del tubo per dove si versa il caffè, che altrimenti non uscirebbe pel proprio peso.

Parimenti un bicchiere o qualunque altro recipiente consimile, applicato alla bocca e succhiata da esso l'aria, sta aderente alle labbra per la pressione dell'atmosfera. Quando mettiamo un nappo di liquore alla bocca, ne inspiriamo l'aria e si obbliga il liquore stesso ad entrare nel canale degli alimenti per la pressione dell'atmosfera. Chiudendo i fori della valvola e del cannello del soffietto, si prova una resistenza sensibile nell'allontanarne le guance, perchè l'aria interna si rarefà diffondendosi in una capacità maggiore e lascia una prevalenza alla pressione esterna dell'atmosfera. Una boccia di sottil vetro, applicata con una viera pel suo collo al foro della machina pneumatica per estrarne l'aria, si spezza per la pressione dell'atmosfera sulla sua superficie esterna. In questo sperimento la rottura avviene per la prevalenza della pressione esteriore sull'interiore; mentre la rottura in quello superiormente adotto proviene all'inverso, per la prevalenza cioè della forza interna sull'esterna (§. 598).

Vi ha un trastullo pei fanciulli, che dipende dai medesimi principii e si potrebbe chiamare *attrattore pneumatico*. Esso consiste in una calotta di cuojo cedevole ed inumidita, che si tiene sospesa pel suo centro ad un cordoncino. Si applica la calotta contro una superficie piana, p. e. d'un mattone, e si comprime ben bene all'intorno del centro contro il piano, affine di espellerne l'aria che rimane fra la sua superficie e il piano medesimo. Tirando allora il cordoncino, si solleva il mattone, che per la pressione dell'aria aderisce alla calotta, nel cui interno rimane il vuoto nell'esser discostata pel suo centro dalla superficie, e ciò per la stessa cagione del ceppo filosofico (§. 596). Questo trastullo sembra suscettibile di diverse applicazioni nelle arti e principalmente nella chirurgia, dove potrebbe essere sostituito alle ventose (§. 598), ed a rilevare parti depresse. Le mosche si sostengono, non solo lungo i muri ed altri piani scabri, ma sulle superficie ben liscie di lastre di vetro verticali in virtù del medesimo principio. Le loro zampe non sono, come volgarmente si crede, spalmate di sostanza glutinosa per sostenersi attaccate a superficie così levigate; ma sono formate, come quelle degli animali acquatici, d'una membrana assai flessibile, che fa l'ufficio della calotta di cuoio nel trastullo descritto.

La pressione atmosferica è stata da pochi anni applicata come motore dei convogli sulle strade ferrate, sostituendola così alla forza elastica del vapore acqueo.

Digitized by Google

602. I fluidi aeriformi dunque al pari dei liquidi premono su se medesimi gravitando gli strati superiori sugli inferiori. Esercitano altresì uno sforzo contro le pareti dei recipienti in virtù della loro espansibilità ed elasticità. La pressione dall'alto al basso prodotta dalla gravità si trasfonde per ogni verso secondo il principio su esposto (§. 599) e condensa gli strati inferiori aumentando in essi la loro forza elastica. I fluidi aeriformi quindi si raccolgono e si conservano soltanto in recipienti chiusi in ogni parte, i quali colle loro pareti si oppongono ed elidono quelle pressioni ed impediscono di espandersi nello spazio. Le condizioni d'equilibrio per questi fluidi si riducono ad una sola, cioè che *la forza elastica sia la stessa in tutta l'estensione dello stesso strato orizzontale*, non essendo necessarie le due condizioni stabilite pei liquidi (§. 504).

Infatti gli aeriformi premono egualmente per ogni verso, ed una loro molecola sopporta una pressione prodotta dalla gravità degli strati sovrincumbenti ed eguale al peso della colonnetta corrispondente di mercurio indicata dal tubo torricelliano. Le molecole perciò poste allo stesso livello subiranno la pressione espressa da quella colonnetta di mercurio. Siccome poi all'azione della forza comprimente i fluidi aeriformi oppongono un'elasticità equivalente; così è chiaro che per l'equilibrio quest'elasticità deve essere eguale per tutte le molecole poste nel medesimo strato orizzontale, come espressa in ognuna dal peso dell'egual colonnetta di mercurio. L'equilibrio poi è stabile quando, a pari temperatura, la densità inferiore è più grande di quella superiore del medesimo fluido; ed è instabile quando ha luogo il contrario. L'equilibrio instabile però è fisicamente impossibile in causa della grande mobilità delle molecole aeriformi.

Questa legge per l'equilibrio è generale per tutte le masse fluide, qualunque sia la loro grandezza. Essa si applica ai fluidi aeriformi rinchiusi in un vaso di piccole dimensioni o in un edifizio, come all'aria che sovrasta ai continenti ed ai mari, ed all'intera atmosfera. Imaginiamo un grande strato che inviluppi la terra all'altezza, p. e, del monte Rosa, e che sia parallelo alla superficie delle acque: per l'equilibrio tutti i punti di questo strato dovranno avere l'egual pressione e quindi reagire per ogni verso colla stessa elasticità. Sui continenti come sui mari, nelle regioni polari come in quelle dell'equatore da per tutto su quello strato vi deve essere per l'equilibrio egual pressione ed eguale elasticità. Un secondo strato parallelo al primo, più basso o più alto, bisogna che abbia per la stessa ragione tutti i punti egualmente premuti; ma ognuno dei due strati proverà

Digitized by Google

una pressione differente di quella del primo strato, la quale sarà maggiore se lo strato è più basso, minore se è più elevato, in ragione della colonna d'aria che si aggiunge abbassandosi o che si toglie innalzandosi. Per tal modo la pressione diminuisce a misura che si eleva nell'atmosfera. Siccome poi l'aria è compressibilissima al pari degli altri fluidi elastici; così ne risulta ch'essa sarà più densa nei luoghi bassi che in quelli elevati, più al piede del monte che alla sua sommità, più alla base della torre che alla sua cima. Questa differenza riesce insensibile nelle piccole masse aeriformi, ma diventa considerabile nella vastità dell'altezza dell'atmosfera. Egli è per ciò che una vescica avizza piena d'aria portata in alto si gonfia interamente; che una boccia piena d'aria in luoghi bassi, portata ben chiusa in luoghi elevati ed aperta lascia sfuggire di quel fluido, per prendere a tale altezza l'egual densità dell'aria circostante e quindi l'eguale elasticità.

Per l'equilibrio dell'atmosfera è necessaria dunque una pressione uniforme in tutte le molecole del medesimo strato orizzontale, ma è difficile che si verifichi una tale condizione per la grande estensione della medesima. Una calma universale in quel oceano aereo è incompatibile con tante cause dirette a disturbare lo stato di quiete di particelle fluide dotate di tanta cedevolezza e mobilità; e basta il dislocamento di una di esse per rompere l'equilibrio in tutta la massa. I fluidi aeriformi inoltre non possono avere come i liquidi una superficie libera, sulla quale non sia esercitata veruna pressione e ciò in virtù della loro forza espansiva. Vi sono però delle ragioni per le quali siamo indotti a credere che l'atmosfera sia limitata e che non si estenda più di 60 in 70 chilometri: L'espansibilità come la compressibilità ha un limite (§. 163), e l'aria atmosferica non invade per ciò il vuoto del firmamento e non ne riempie lo spazio, per formare degli inviluppi intorno alla luna ed agli altri astri come all'intorno della terra.

603. Dall'egual elasticità e quindi dall'egual pressione, che hanno tutte le parti d'un medesimo strato orizzontale dell'atmosfera, si comprende come l'elevazione del mercurio nel tubo di Torricelli succede egualmente all'aria libera e in una stanza. Imperocchè le molecole aeree nella stanza sopportano la stessa pressione di quelle poste al di fuori di essa nel medesimo strato orizzontale. L'errore proviene dal non avere l'idea distinta del principio dell'eguaglianza di pressione per ogni verso, e di credere quindi che la pressione

sia prodotta soltanto dalla colonna d'aria, la quale dalla superficie del mercurio si estende sino alla soffitta.

Del resto pei fluidi aeriformi si verificano tutte le conseguenze che dal principio mentovato si sono dedotte intorno alla pressione dei liquidi; e in quelli ha luogo come per questi il fenomeno del così detto paradosso idrostatico (§. 509), dal quale dipende la costruzione del torchio idraulico (§. 510). Parimenti quando la tensione d'un fluido aeriforme equilibra il peso d'una colonna di fluido liquido, *le altezze delle due colonne devono essere in ragion reciproca della loro densità*, prendendo per la tensione il peso equivalente di una colonna dello stesso fluido d'uniforme densità eguale a quella del primo strato (§. 512). La pressione però sulle pareti dei vasi può essere accresciuta coll'aumentare la densità e quindi l'elasticità dell'aria o del fluido aeriforme in essi contenuto; osservandosi che l'elasticità degli aeriformi allo stato ordinario è equilibrata dalla pressione esterna dell'atmosfera. Nei vasi contenenti dei liquidi tale equilibrio atmosferico ha pure luogo, e la pressione sulle pareti si esercita da questi fluidi soltanto pel loro peso (§. 507 e 508). Importa dunque di esaminare in qual rapporto cresce l'elasticità dell'aria e dei fluidi aeriformi colla loro densità.

604. Primieramente faremo conoscere le machine con cui si condensa un fluido aeriforme in un recipiente qualunque. La *tromba di compressione* o *siringa pneumatica* è il congegno più usitato per condensare l'aria o qualunque altro gas in un vaso o recipiente; essa è molto somigliante alla *siringa idraulica composta* (§. 567). Invece del cannello laterale, per dove si attrae il fluido nel corpo di tromba per essere injettato nel recipiente, vi ha superiormente un piccolo foro *f* (fig. 210) distante dall'orlo interno del corpo di tromba d'un intervallo non minore della grossezza dello stantuffo S. Innalzando lo stantuffo sinchè colla sua base inferiore si trovi al di sopra di quel foro, l'aria si precipita pel medesimo nel vuoto lasciato da esso, e nell'abbassamento è sforzata ad aprire la valvola *x* e ad entrare nel recipiente R congiunto col cannello *ab*. Injettando, con successivi innalzamenti ed abbassamenti dello stantuffo, nuov'aria nel recipiente R, essa vi è sempre più condensata ed acquista maggior elasticità, per la quale si esercita una maggiore pressione contro le pareti, da cui è ritenuta. La siringa pneumatica descritta serve soltanto per comprimere l'aria; ma per condensare qualunque fluido aeriforme, invece del foro *f*, il corpo di tromba è munito inferiormente d'un tubo *mn* con una valvola *y* (fig. 211), che si apre all'in-

Digitized by Google

dentro. Congiungendo questo tubo col serbatojo pieno del gas da essere condensato, viene inspirato nel corpo di tromba ad ogni innalzamento dello stantuffo, e nell'abbassamento apre la valvola *x* ed è compresso nel recipiente R. Quando la compressione è giunta al grado che si desidera, si gira la chiavetta V e si chiude il gas introdotto nel recipiente.

Nelle grandi compressioni la chiavetta V non basta per ritenere il fluido aeriforme condensato, il quale, per la grande elasticità acquistata, esercita uno sforzo considerabile sulla chiavetta, la rimove e si apre la via per isfuggire nell'atmosfera. In tali casi è molto propria la *chiavetta a valvola* imaginata dal professore Crivelli, che meriterebbe d'essere più generalmente conosciuta (1). Consiste questo ingegnoso ordigno in una chiavetta di forma delle comuni, la quale, invece d'avere il foro nel mezzo attraverso il suo asse, ha lateralmente una cavità *ab* (fig. 212) che va rastremandosi da un lato della sua periferia. La valvola a cono V, nella posizione indicata dalla figura, si adatta esattamente al recipiente e ne chiude la tubulatura unitamente alla chiavetta C. Il gas compresso nel recipiente preme sulla valvola e la chiude più esattamente, facendola meglio combaciare colle pareti; la chiavetta contribuisce pur essa ad impedire l'uscita del gas. Girando la chiavetta C, si presenta essa allo stelo *mn* della valvola per la parte piena, la spinge dentro il recipiente e la obbliga a lasciar libera la comunicazione; nello stesso tempo la cavità *ab* è portata a rincontro della parete e per essa si apre un adito che compie l'apertura del recipiente. Quando s'injetta il fluido nel vaso si conserva alla chiavetta quest'ultima posizione, e si chiude poscia portando la cavità a rincontro della valvola, la quale, a misura che lo stelo s'interna nella cavità medesima, è spinta dalla molla a spirale *d*.

605. Nella stessa maniera che con due trombe d'aspirazione venne formata la machina pneumatica (§. 590), con due trombe di compressione si è congegnata la *machina di condensazione*. La differenza di questa machina con quella pneumatica consiste nei due corpi di tromba, nei quali la valvola si apre in verso contrario, cioè dall'alto al basso come nella tromba di compressione descritta. Il recipiente è una campana di vetro con pareti assai grosse, la quale è tenuta aderente al piatto per mezzo d'una robusta traversa adattata sulla

(1) Si vegga l'opuscolo di lui: — *Nuovo meccanismo per ottenere la più vantaggiosa combustione dell'idrogeno mediante l'ossigeno*. Milano 1818.

parte superiore e premuta da galletti di vite che entrano nei rispettivi mastii assicurati a due colonnette. Ogni volta che si abbassa lo stantuffo in una delle trombe, s'injetta nuova aria nella campana, e si comprime in essa maggiormente l'aria. Il grado di compressione è indicato da una colonnetta di mercurio, che condensa l'aria in un tubo di vetro in comunicazione colla campana. Mettendo in questo recipiente dei corpi, si ottengono degli effetti contrarii a quelli che si hanno sotto la campana della machina pneumatica.

606. Allorquando un gas è rinchiuso in uno spazio a pareti inestendibili e sottoposto ad una pressione sempre crescente si riduce sempre più a minor volume ed acquista una maggior forza elastica. Boyle e Mariotte (1) hanno determinato la legge di condensazione dell'aria in rapporto all'elasticità, la quale legge venne estesa da Fontana a parecchi gas (2). Questa legge assai semplice, indicata in Inghilterra sotto il nome di *legge di Boyle* e in Francia sotto quello di *legge di Mariotte*, è la seguente: *I volumi dei gas sono nella ragione inversa delle pressioni, cui sono sottoposti;* o in altri termini, *le densità dello stesso gas sono proporzionali alle pressioni*. Questa legge si suole aperimentare nelle scuole mediante un tubo ripiegato parallelamente a se stesso in due rami disuguali, il più corto dei quali è esattamente cilindrico e chiuso, e l'altro aperto. S'introduce nella curvatura del tubo un poco di mercurio in modo che si trovi allo stesso livello nei due rami, facendo sortire l'aria eccedente che si trovasse nel più corto, onde in questo la rimanente abbia la stessa pressione di quella esterna. Si nota esattamente il livello nel ramo corto, e poscia in quello lungo si versa nuovo mercurio, il quale col suo peso sforza l'aria nel ramo corto a restringersi sotto minor volume; si seguita il versamento sino a che questo volume sia ridotto alla metà. Osservando l'altezza del mercurio sul livello del liquido nel ramo corto si trova eguale a quella indicata dal tubo torricelliano; talchè sotto la pressione di due atmosfere il volume è ridotto alla metà. Versando nuovo mercurio sino all'altezza

(1) Boyle. — *Defensio contra linum*, tom. V.—Mariotte. — *De la nature de l'air*.

(2) Si vegga la memoria — *Risultati di diverse sperienze sull'elasticità dei fluidi aeriformi permanenti*. — Negli *Opuscoli scientifici* di Felice Fontana. Napoli 1787.

doppia della prima, si ha la pressione di tre atmosfere e il volume è ridotto ad un terzo del primitivo.

Parecchi fisici hanno cercato poscia di assicurarsi se una tale legge si verificasse sotto pressioni maggiori di tre atmosfere, ed alcuni di essi hanno trovato che, per l'aria, essa si discostava al di là di quattro atmosfere, ed altri che non era generale per tutti i gas. Le sperienze di Dulong ed Arago spinte sino a 27 atmosfere sembravano avere dissipato tali dubbi (1), quando di recente l'argomento fu ripreso da Regnault istituendo delle sperienze variate con diligenza e con apparati più esatti e più proprii a decidere la questione (2). Regnault è condotto da queste sue indagini a conchiudere che l'*aria atmosferica non segue rigorosamente la legge di Mariotte, e ch'essa si comprime un poco di più di quello che richiederebbesi secondo una tale legge*; lo stesso avviene del *gas azoto* e dell'*acido carbonico*. Il *gas idrogeno* non segue pure la detta legge; ma ciò che è rimarchevole si è ch'esso si diporta in un modo opposto a quello dell'aria, vale a dire che, mentre l'aria atmosferica e quei gas si comprimono di più di quanto dovrebbe essere secondo la nominata legge, il gas idrogeno prova una compressione minore di quella data dalla legge medesima, e la sua compressione risulta minore a misura che cresce la forza comprimente. Questo risultato è della maggiore importanza per la teorica meccanica dei gas. Intanto osserveremo quanto i fluidi aeriformi siano più compressibili dei liquidi: mentre sotto la pressione d'un'atmosfera l'acqua prova la compressione di 48 e il mercurio di 3 milionesimi del loro volume primitivo (§. 516), l'aria sotto la stessa forza si restringe per metà del suo volume o di 500 mila milionesimi.

La legge di Mariotte deve quindi riguardarsi soltanto come approssimativa ed entro limiti assai ristretti. Parlando del coefficiente di dilatazione dei gas in virtù del calorico, vedremo quale relazione possa avere il grado di compressibilità di questi fluidi col loro stato più o meno gazoso. Intanto presentiamo sulla forza espansiva dell'aria il seguente problema: in un tubo di vetro ben calibro il mercurio si sostiene all'altezza A, introducendo in esso una colonna d'aria dell'altezza a, questo fluido si dilata nel vuoto torricelliano e fa abbassare il mercurio all'altezza che diremo x; determinare quest'altezza x secondo la legge di Mariotte e verificare se il suo valore

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie 1830, tom. LXII, pag. 74.
(2) *Annali di fisica, chimica ecc.*, tom. XXV, pag. 25 e 147.

si accorda con quello dato dall'esperienza, che verrà istituita. Chiamando α la lunghezza totale del tubo dal livello del mercurio nel pozzetto, si trova colla legge mentovata il valore seguente:

$$x=\frac{A+\alpha\pm\sqrt{(\alpha-A)^2+4A\alpha}}{2}$$

Parlando della gravità specifica dei fluidi elastici, vedremo che l'acqua, alla temperatura della sua massima densità, è di poco più di 770 volte in peso dell'egual volume d'aria a zero gradi del termometro ed alla pressione di 760 millimetri. Se la sumentovata legge si verificasse per le più grandi pressioni, l'aria sotto la forza comprimente di 770 atmosfere sarebbe densa come l'acqua. Talchè, alla profondità del mare di circa chilometri 7,7, l'aria dovrebbe prendere la densità eguale a quella dell'acqua; e quantunque gazosa non potrebbe elevarsi alla superficie. Non si hanno però ragioni per credere che, sotto quell'enorme pressione, l'aria non passi allo stato liquido, mentre altri gas permanenti sotto forze comprimenti molto minori vennero liquefatti (§. 171).

607. L'elasticità dei fluidi aeriformi allo stato di condensazione e l'espansibilità di cui sono dotati naturalmente allo stato ordinario, prendono il nome comune di *tensione*, la quale è sempre eguale alla pressione che ne annulla l'effetto, nello stesso modo che la reazione eguaglia l'azione (§. 218). La tensione si misura con colonne liquide o con valvole aggravate di pesi. Gli apparecchi a colonne liquide generalmente si denominano *manometri*, ai quali appartiene il *provino* della machina pneumatica (§. 590). Abbiamo veduto che vi sono diverse specie di valvole (§. 566), le quali servono anche per la misura della tensione. Per riguardo ai fluidi aeriformi esse sono di *pressione* e di *sicurezza*, e in quest'ultimo caso vengono destinate ad impedire le esplosioni, che possono succedere quando la tensione è portata ad un sì alto grado da fare scoppiare i recipienti, dove i fluidi aeriformi sono condensati.

Si fa uso dell'una o dell'altra valvola secondo la grandezza degli apparati e lo scopo cui sono destinati. Le valvole a linguetta non possono servire che ad impedire il passaggio del fluido senza misurarne la tensione o la pressione; lo stesso si dica di quelle a ventola. Per valutare la pressione o la tensione bisogna conoscere: I. il peso totale della valvola; II. l'estensione dell'area sottoposta all'azione normale del fluido. Le valvole a cono e ad animella sono talvolta aggravate direttamente di pesi conosciuti, e quelle a cono si premono con un

peso attaccato all'estremità d'una leva di seconde genere. In questo secondo caso è necessario determinare esattamente la lunghezza dei due bracci di leva e ridurre il peso al momento che esercita sulla valvola, secondo il principio della leva (§. 436). Espresso in ogni modo in chilogrammi il peso che gravita sulla valvola, e valutata l'area premuta dal fluido in centimetri quadrati, si trova facilmente il peso di cui è caricato un solo centimetro, il quale si suole ridurre comunemente in atmosfere col dividerlo per 1,0333, che rappresenta in chilogrammi la pressione d'un'atmosfera sopra un centimetro quadrato (§. 595). Se il peso è, per es., di 100 chilogrammi e l'area di 20 centimetri quadrati, ciascuno di questi sopporterà la pressione di 5 chilogrammi. Il numero delle atmosfere sarà in questo caso espresso da $\frac{5}{1,0333}$, ossia di atmosfere 4,84, più l'atmosfera ordinaria, che pure agisce sulla valvola. Questa maniera di valutazione si applica tanto ai fluidi aeriformi che a quelli liquidi, e s'impiega per mettere alla prova i tubi di condotta, i cilindri, i serbatoi e le caldaie delle machine a vapore.

608. Il nome di manometro veniva dato per l'addietro soltanto agli apparecchi destinati a misurare la rarefazione dell'aria, o la tensione di questo fluido quando è rarefatto; e infatti la parola stessa lo dinota, essendo composta di due vocaboli greci, che significano *misura della rarefazione*. Oggidì si chiama manometro qualunque apparecchio a colonna liquida proprio alla misura delle tensioni degli aeriformi. Il tubo torricelliano è un vero manometro, che misura la pressione dell'atmosfera o la tensione dell'aria allo stato naturale. I manometri per la misura della tensione dei fluidi negli spazi chiusi si distinguono in due classi: in *manometri a pressione* ed in *manometri a condensazione*.

Il manometro destinato a misurare il grado di rarefazione nel recipiente pneumatico e che dicesi *provino*, è in sostanza il tubo torricelliano raccorciato ed incurvato in due rami eguali e paralleli, l'uno dei quali è aperto e l'altro chiuso. Il tubo così disposto è applicato ad una tavoletta verticale, su cui è segnata una scala in centimetri e millimetri. Il ramo chiuso è interamente pieno di mercurio, che giunge sino all'estremità inferiore dell'altro ramo. Abbiamo già veduto come è messo in comunicazione col recipiente della machina pneumatica (§. 590). Essendo rarefatta l'aria nel recipiente, si diminuisce la tensione, che preme sul mercurio, il quale si abbassa

nel ramo chiuso mentre s'innalza nell'altro ramo. La differenza di livello del mercurio nei due rami indica il grado di rarefazione, la quale è di 4 millimetri se tale differenza risulta di 4 millimetri. Abbiamo già detto a qual grado di rarefazione si giunge colle migliori machine pneumatiche (§. 391). Si noti che, avendo il tubo chiuso del manometro una lunghezza minore di 76 centimetri, parte soltanto della tensione dell'aria alla sua densità naturale è impiegata a sostenere la piccola colonna di mercurio, mentre l'altra parte esercita la sua azione sulla sommità del ramo chiuso dal tubo. Per tal modo nei primi colpi dello stantuffo il mercurio non discende nel provino; giacchè non si toglie la pressione da cui è tenuto sollevato, ma bensì quella esercitata sulla sommità del tubo. Ciascun ramo ha la lunghezza di 18 in 20 centimetri, per cui non incomincia il mercurio ad abbassarsi se non quando la tensione dell'aria è ridotta a circa 1/4 della pressione atmosferica. Al momento che si restituisce l'aria nel recipiente, si esercita un'azione subitanea sul mercurio, per la quale questo liquido è spinto con violenza nel ramo chiuso, ed andrebbe ad urtarne la sommità con pericolo di rottura. Per diminuire quest'urto ed impedire la rottura, il ramo chiuso ha praticato nella parte superiore un restringimento, che arresta l'impeto del mercurio e ne diminuisce quindi l'urto contro la sommità del tubo.

Il provino della machina pneumatica è un manometro a pressione. I *tubi di sicurezza* appartengono pure alla medesima categoria di manometri, ed indicano la tensione dei gas contenuti nei recipienti cui si adattano, e si chiamano per la loro forma *manometri a sifone*. Essi consistono in tubi di vetro ripiegati due volte parallelamente a se stessi (fig. 213), e si applicano ai vasi, ove si trova il gas, per l'estremità *a*, mentre l'altra *b* è in comunicazione coll'atmosfera. Contengono in parte dei due rami *cd*, *eb* dell'acqua, del mercurio o altro liquido, il quale si mette allo stesso livello *ef* quando la tensione interna è eguale alla pressione dell'atmosfera esterna. Se l'una prevale sull'altra il liquido ha un livello differente nei due rami, e per valutare la differenza di tensione in millimetri di mercurio, bisogna conoscere la densità del liquido. D'ordinario i manometri di questa specie si uniscono ai recipienti destinati all'estrazione dei gas, e si chiamano tubi di sicurezza, perchè nel caso d'uno sviluppo straordinario di fluido aeriforme o di un concentramento possa restituirsi l'equilibrio attraverso al tubo e non scoppi l'apparato. Affinchè poi, nel caso della prevalenza della pressione atmosferica, il liquido del manometro non sia spinto nell'apparato del gas, vi ha un

rigonfiamento g, dove può radunarsi per lasciar il passaggio all'aria esterna, che entra a restituire l'equilibrio. Molti apparati delle arti fanno uso di questo manometro tanto allo scopo di misurare la tensione come per quello di mettersi al sicuro di qualche sinistro accidente.

609. Il *manometro a condensazione* consiste in un tubo ricurvo come quello del provino della machina pneumatica. Il ramo chiuso contiene nella parte ep dell'aria alla densità ordinaria (fig. 214), per cui il mercurio si trova nei due rami allo stesso livello pq. Si applica ad una tavoletta; e l'estremità aperta f è in comunicazione col recipiente, dove si condensa il fluido aeriforme. A misura che la condensazione aumenta, il mercurio è premuto sulla superficie q, ed è spinto nel ramo re, dove condensa alla sua volta l'aria in esso rinchiusa. Se il volume di quest'aria viene ridotto alla metà del primitivo, la tensione del gas condensato è doppia della primitiva secondo la legge di Mariotte (§. 608). Vi ha un rigonfiamento g per impedire al ramo aperto di vuotarsi di mercurio, a misura che questo liquido viene spinto nel ramo chiuso. Se il mercurio nei due rami non ha lo stesso livello pq all'incominciar del condensamento, in causa delle variazioni della pressione atmosferica o di quelle della temperatura dell'aria ep rinchiusa nel manometro, bisognerà tenere conto di tale differenza. Si suole anche usare come manometro di condensazione un tubo diritto chiuso superiormente ed immerso per l'estremità inferiore nel mercurio contenuto in una vaschetta: a misura che si fa la condensazione, il mercurio sale nel tubo e comprime l'aria in esso contenuta, il cui volume, essendo ridotto alla metà, al terzo, al quarto di quello che aveva, si deduce, secondo la nominata legge, che la pressione è di due, tre, quattro atmosfere.

Per graduare il manometro a condensazione bisogna tener conto dell'elevazione del mercurio nel ramo chiuso del tubo, con cui si ha una colonna di liquido che equilibra una parte della tensione del fluido nel recipiente, e che quindi non influisce sul condensamento dell'aria del manometro. A tal fine si chiami a l'altezza ep e si esprima con 1 la sezione del tubo; è chiaro che il volume dell'aria alla pressione d'un'atmosfera sarà rappresentata da a. La tensione t dell'aria, quando il mercurio è salito nel tubo al disopra del livello p in modo che il volume di essa sia ridotto ad $a-x$, si avrà per la nominata legge $am=t(a-x)$, dove $m=760$ millimetri o ad un'atmosfera; da cui si ricava $t=\frac{am}{a-x}$. Questo valore però ha

bisogno d'una correzione, perchè la pressione t, sul mercurio del ramo aperto del manometro, deve sostenere la colonna $2x$ di liquido senza poter comprimere l'aria nel ramo chiuso, per cui dovrà essere $t=\frac{am}{a-x}+2x$. Si potrà dunque determinare il numero x perchè questa pressione equivalga ad un dato numero n di atmosfere sciogliendo l' equazione $\frac{am}{a-x}+2x=mn$, dalla quale si ricava $x=\frac{2a+mn\pm\sqrt{(2a+mn)^2-8am(n-1)}}{4}$. Ad ogni valore di n si avranno per x altrettanti valori in atmosfere per segnare la scala sullo spazio ep del manometro.

610. I fluidi aeriformi aumentano di volume in virtù del calorico al pari dei fluidi liquidi (§. 530) e dei corpi solidi (§. 432); ma nei primi la dilatazione prodotta per un aumento di temperatura è in certo qual modo indipendente dalla coesione delle loro molecole, che sono già soggette per loro natura ad un potere espansivo in virtù del calorico, che tengono latente o combinato. È appunto per tal ragione che fra l'uno e l'altro fluido aeriforme non si riscontra una grande differenza di dilatazione, mentre essa riesce molto rilevante fra i solidi e fra i liquidi. Anzi sino a questi ultimi anni si è ritenuto che tutti i gas ed i vapori avessero lo stesso coefficiente di dilatazione.

Parecchi fisici nel trascorso secolo avevano studiato la legge della dilatazione dell'aria in virtù del calore; e in Italia Fontana si occupò d'indagini consimili dirette a *determinare se le dilatazioni delle arie (gas) siano proporzionali alle differenze di calore e quanto ne derivino* (1). Volta però fu il primo che con esperienze dirette abbia stabilito la dilatazione dell'aria in virtù del calorico (2). Vi erano parecchie discrepanze intorno alla dilatazione dell'aria, ed egli dimostrò ch'esse dipendevano dall'umidità, che si conteneva in quel fluido; giacchè, operando sopra aria ben diseccata, tutte quelle differenze acomparivano, rendendo per tal modo manifesta la vera legge della dilatazione dell'aria pel calorico. Per evitare l'influenza del

(1) Negli *Opuscoli scientifici* di Felice Fontana. Napoli 1767, l'autore cita a pag. 95 le sue indagini sulla dilatazione pel calore.

(2) *Annali di chimica, fisica ecc.* di L. Brugnatelli, tom. IV, pag. 227. Pavia 1793.

vapore acqueo, egli introduceva l'aria ben secca e ben purgata in recipienti posti sopra un bagno d'olio. Le indagini di Volta fecero sparire in tal modo tutti i dubbii, che esistevano intorno alla legge della dilatazione dell'aria pel calore, e l'importanza delle medesime è riconosciuta anche da Arago nell'elogio del fisico italiano letto all'academia di Francia (1). Colle sue sperienze Volta trovò che, sotto la stessa pressione, il volume dell'aria si dilata uniformemente di $\frac{1}{215}$ del volume primitivo alla temperatura zero per ogni grado del termometro ottagesimale, cioè di 0,3721 del detto volume dalla temperatura del ghiaccio deliquescente a quella dell'acqua bollente e, tenendo conto dell'ingrandimento del vaso per la dilatazione del vetro, la dilatazione dell'aria fra le suddette temperature risulta di quasi 0,373.

Molto tempo dopo la publicazione dei risultati del fisico italiano, Gay-Lussac in Francia e Dalton in Inghilterra si occuparono quasi contemporaneamente di quelle indagini; e l'uniforme dilatazione dell'aria è stata verificata da quei due fisici in tutti i gas e in tutti i vapori, sinchè questi rimangono allo stato aeriforme. Dalton ha trovato la dilatazione dell'aria, entro i limiti del ghiaccio deliquescente e dell'acqua bollente, espressa da 0,372; mentre Gay-Lussac è pervenuto al numero 0,375. I risultamenti dei due fisici stranieri differiscono di poco dal numero ritrovato da Volta, anzi quello del fisico italiano risulta medio fra i medesimi. Biot, che ha publicato le sperienze del suo compatriota, osserva, senza far cenno di Volta, che, qualunque sia l'abilità di Dalton nello sperimentare, il risultato del fisico francese può essere risguardato come più esatto tanto in virtù delle molte precauzioni prese per ottenerlo, quanto per accordarsi esso col rapporto determinato per l'aria atmosferica da Tobia Mayer (2). In Italia come in Francia fu adottato sino a questi ultimi anni il coefficiente 0,375, che pochissimo differisce da quello stabilito da Volta. Hanno in seguito Dulong e Petit studiato la dilatazione dei gas per temperature più basse di zero e più elevate di 100 del termometro. Dalle loro esperienze risulta che l'aria e il mercurio conservano anche al disotto di zero un'uniformità nelle loro dilatazioni, e che due termometri fatti con questi due fluidi, l'uno aeri-

(1) Si vegga l'*Elogio storico di Volta*, riportato nel giornale l'*Indicatore*, tom. II, serie 4a. Milano 1833, pag. 13.

(2) *Traité de physique*, par Biot, tom. I, pag. 182. Paris 1816.

forme e l'altro liquido, s'accordano sino a—36°; al disotto del qual grado il mercurio è troppo vicino al suo punto di congelazione per essere impiegato nella misura della temperatura. Da 100 sino a 360 gradi le dilatazioni dell'aria sono decrescenti in confronto di quelle del mercurio, e le dilatazioni di questo liquido diventano per conseguenza crescenti in confronto dell'aria per accostarsi esso, a misura che aumenta la temperatura, al suo punto d'ebollizione ossia del passaggio in vapore. Davy infine ha sottoposto all'esperienza la dilatazione dei gas a diverse pressioni, ed aveva stabilito che essi si diportano colla stessa uniformità e danno luogo a risultamenti analoghi.

611. Le cose si trovavano in questo stato e i risultati precedenti erano ammessi da tutti i fisici ed impiegati in tutti i calcoli, quando Rudberg nel 1838 intraprese alcune sperienze (1), dalle quali appariva che il coefficiente di dilatazione 0,375, sino allora adottato, era troppo grande, e che bisognava diminuirlo di circa 1/37. La media dei risultamenti di lui danno per tal coefficiente il valore 0,36463. Al principio del 1841, Magnus in Germania, ed al fine dello stesso anno Regnault in Francia publicarono i risultati delle loro indagini sui gas (2) e sullo stesso argomento studiato preventivamente dal fisico svedese Rudberg. Ciascuno dei due fisici sperimentò in diverse maniere, essendo necessario giungere per diverse vie al medesimo risultato avanti di ritenere erroneo il coefficiente di dilatazione determinato dai distinti fisici loro predecessori. D'altronde il soggetto è di qualche importanza ed atto per natura sua ad esercitare una grande influenza sulla teorica della costituzione fisica e chimica dei gas, che si ritenevano subordinati alla legge di Mariotte per riguardo alla pressione, ed all'altra di Volta, Dalton e Gay-Lussac per riguardo alla dilatazione in virtù del calorico. All'appoggio infatti di queste due leggi si era stabilito per principio che, sotto la medesima pressione ed alla medesima temperatura, le molecole dei gas tanto semplici che composti, sono alla medesima distanza, vale a dire che tutti i gas sotto lo stesso volume contengono l'egual numero di atomi. Ora questo principio conduceva a conseguenze difficili ad essere ammesse e rifiutate da alcuni chimici, fra i quali Berzelius.

Per l'aria atmosferica il coefficiente di dilatazione alla pressione di 760 è, secondo Magnus, di 0,36678 e, secondo Regnault, di

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, di Poggendorff, tom. XLIV, pag. 119.
(2) Si vegga pei lavori dei due fisici stranieri l'estratto che se ne dà negli *Annali di fisica, chimica ecc.*, di Majocchi, tom. VII, pag. 268.

0,3665. Altri gas da loro sperimentati hanno un coefficiente di dilatazione differente di quello dell'aria atmosferica, per cui non è vera la legge, seguita sino allora pel coefficiente di dilatazione uniforme a tutti i gas. Adottando la frazione continua 0,36666.. per la dilatazione dell'aria, si avrebbe la frazione 11/30 molto semplice e comoda pei calcoli. La dilatazione varia eziandio secondo che i gas sono tenuti sotto volume costante o sotto pressione costante: ecco il coefficiente di dilatazione, in questi due casi da 0° a 100° del termometro, di alcuni gas più conosciuti, eccetto l'ossigeno, da cui non si ebbero risultati sicuri per non aver potuto impedire che questo gas, nel riscaldamento, esercitasse un'azione chimica sul mercurio, che serviva di bagno, e quindi assorbiva quel gas:

Coefficiente di dilatazione medio da 0° a 100°.

	sotto *Volume costante*		*Pressione costante*
Aria atmosferica	0,3665	——	0,3670
Azoto	0,3668	——	
Idrogeno	0,3667	——	0,3661
Acido carbonico	0,3688	——	0,3710
Protossido d'azoto	0,3676	——	0,3719
Ossido di carbonio	0,3667	——	0,3669
Acido solforoso	0,3885	——	0,3903
Cianogeno	0,3829	——	0,3877.

Il coefficiente di dilatazione non è dunque lo stesso per ciascun gas, ed inoltre esso varia al variar della pressione e va aumentando con essa più rapidamente nel gas acido carbonico che nell'aria atmosferica. Dei gas sperimentati, l'idrogeno è il solo, il cui coefficiente non cambia colla pressione, almeno sino a quattro atmosfere; mentre quello dell'aria aumenta di già a partire dalla pressione atmosferica ordinaria, sotto la quale questi due fluidi provano sensibilmente la stessa dilatazione. In generale le sperienze dei fisici su nominati mostrano che quanto più la pressione, sotto cui i gas sono cimentati, è considerabile, tanto più si rincontra differenza fra i loro coefficienti di dilatazione; e all'inverso, i coefficienti di dilatazione si avvicinano tanto più all'eguaglianza quanto più le loro pressioni sono deboli. Talchè la legge, che consisteva nel dare a tutti i gas l'egual coefficiente di dilatazione, può essere considerata come applicabile soltanto allo stato di rarefazione, e che tanto più si discosta dalla realtà

quanto più i gas sono compressi, o in altri termini quanto più le loro molecole sono riavvicinate. Ritorneremo sull'argomento nel capitolo del calorico, facendo conoscere la maniera d'istituire qualche sperienza per rendere manifesta nella scuola la dilatazione non solo dei fluidi aeriformi, ma eziandio dei fluidi liquidi e dei corpi solidi. Mostreremo altresì come colla sottrazione del calorico e coll'aiuto di forti pressioni siasi pervenuto a liquefare parecchi gas, al pari di quanto succede dei liquidi, che vengono solidificati col raffreddarli. Allora riconosceremo che i gas più facili ad essere liquefatti hanno il coefficiente di dilatazione più grande.

612. Sinora abbiamo parlato della tensione e delle compressione dei fluidi permanenti o dei gas, ora dobbiamo occuparci dei fluidi non permanenti o dei vapori. Non è qui il luogo di esaminare come, sotto l'azione del calorico, si formino i vapori, diremo solo che la trasformazione dei liquidi in fluidi elastici non permanenti si chiama in generale *evaporazione* o *vaporazione*. e che questo passaggio può avvenire in due maniere: I. *quando i vapori nascono alla superficie del liquido*, ed allora ha luogo l'*evaporizzazione*; II. *quando i vapori si formano nel seno della massa liquida*, il che dicesi *ebollizione*. Alcune sostanze, come le odorose, emettono ad una certa temperatura delle esilissime particelle e si diportano in un modo somigliante ai liquidi in evaporizzazione: in tal caso ha luogo l'*esalazione*, e i vapori che ne emanano diconsi *effluvii* (§. 588).

La formazione dei vapori succede egualmente nel vuoto come nell'aria o in qualunque altro gas, colla sola differenza che nel primo caso l'evaporazione si fa subitamente, mentre nel secondo essa avviene con lentezza, opponendo il gas un ostacolo od una resistenza meccanica all'aeriformazione del liquido. Per dimostrare una tale verità si presta opportunamente il vuoto torricelliano, non solo per essere esso il più perfetto che si conosca, ma per servire colla colonna di mercurio alla misura della tensione. Si prendono a tal fine parecchi tubi di Torricelli immersi verticalmente per le loro estremità nel mercurio contenuto in un pozzetto, e in ciascun dei quali questo liquido si eleverà all'egual altezza determinata dalla pressione del luogo in cui si sperimenta. Si versa in uno di questi tubi una colonnetta di acqua di determinata altezza, levando altrettanto mercurio, si chiude poscia con un dito per capovolgerlo di nuovo nella vaschetta come nell'esperimento di Torricelli. L'acqua, essendo meno pesante, va ad occupare la parte superiore del tubo galleggiando sul mercurio. I due liquidi per esperienze di confronto devono essere

distillati e ben purgati d'ogni sostanza eterogenea. Si scuote più volte il tubo per obbligare le bolle, che fossero rimaste aderenti al vetro, a salire nello spazio superiore lasciato vuoto dal mercurio. Si può anche introdurre l'acqua superiormente al tubo con un cannelletto incurvato.

Al momento che l'acqua giunge nello spazio vuoto del tubo, si vede la colonna di mercurio abbassarsi di parecchi millimetri, e ciò in causa del vapore acqueo superiormente formatosi. Osservando l'altezza, cui si mette il mercurio in questo tubo e confrontandola con quella del tubo torricelliano posto a rincontro, si ha dalla differenza la tensione del vapore nel vuoto. Coll'alcoole, si ottiene nel vuoto torricellano del vapore alcoolico, di cui si riconosce la tensione nello stesso modo; e così dei vapori di altri liquidi ed anche delle esalazioni di alcuni solidi come la canfora, il muschio e simili. Si trova che le tensioni dei diversi vapori, misurate dalle depressioni della colonna di mercurio in ciascun tubo, non sono fra loro eguali, e risultano soltanto sempre le medesime per ciascun vapore, finchè rimane costante la temperatura.

In tal modo si ha la tensione del vapore nel vuoto: per osservare gli effetti del vapore in uno spazio pieno d'aria o di altro gas, si adopera un pallone di cristallo munito d'un manometro a sifone (§. 608). Si disponga il pallone pieno d'aria in modo che il mercurio del manometro segni la tensione interna eguale alla pressione esterna; e poscia si inumidiscano d'acqua o d'altro liquido le pareti interne, e si chiuda esattamente in ogni parte. Il manometro indica che la tensione interna va lentamente aumentando e giunge dopo un certo tempo ad un punto che non oltrepassa, quando rimanga costante la temperatura dell'ambiente, dove è collocato il pallone. Se la temperatura sia eguale a quella che si aveva operando nel vuoto torricelliano, ed il liquido con cui furono umettate le pareti interne del pallone sia in quantità sufficiente, si trova che la tensione del vapore formatosi nel vuoto e nell'aria è la medesima; colla sola differenza che l'evaporazione si è fatta istantaneamente nel primo caso e lentamente nel secondo. Inoltre se si aumenta la temperatura del pallone, immergendolo, p. e., in un bagno d'acqua calda, l'aria interna si dilata e fa salire il mercurio nel manometro, ma la tensione che si manifesta è molto più grande di quella debita al gas secondo la legge di dilatazione precedentemente dichiarata (§. 611). È chiaro dunque che un tal eccesso di tensione è dovuto al vapore mescolato col gas. Da tutto questo si deduce che il vapore, che si

forma in uno spazio sia esso vuoto o pieno d'aria o di qualunque altro gas, ha l'egual tensione, la quale è dovuta soltanto alla temperatura dello spazio medesimo.

613. Per accertarsi che la tensione del vapore rimane costante per la medesima temperatura, s'introducono come precedentemente alcune gocce d'acqua o di altro liquido nel tubo di Torricelli, il quale peschi nel mercurio contenuto in un pozzetto assai profondo, in modo che possa in esso essere immersa buona porzione del tubo e diminuire così lo spazio superiore, od accrescerlo coll'innalzare il tubo medesimo estraendolo per parte della sua lunghezza dal mercurio. Tenendo costante la temperatura, si potrà con questo semplice apparato variare a piacimento lo spazio vuoto dove si trova il vapore. Diminuendo un tale spazio coll'immergere di più il tubo, il vapore eccedente passa allo stato liquido e il rimanente mostra l'egual tensione, di cui era prima dotato quando in maggior quantità era diffuso in uno spazio proporzionalmente più grande. Accrescendo invece lo spazio, nuovo liquido passa in vapore e la tensione, non variando la temperatura, rimane ancora la medesima, finchè siavi liquido da fornire nuovo vapore allo spazio che si aumenta. Al di là di questo punto, allargando di nuovo lo spazio col sollevare di più il tubo, la tensione diminuisce, e la diminuzione diventa tanto più grande quanto più si accresce lo spazio, come mostra l'altezza della colonna di mercurio nel tubo.

I vapori hanno dunque come i gas una forza espansiva indefinita, per la quale, rimosso qualunque ostacolo, essi prendono dei volumi indefinitamente crescenti. La tensione però non aumenta indefinitamente colla compressione, e sotto una certa forza premente i vapori passano allo stato liquido. Si è veduto infatti nella precedente sperienza che, per quanto si restringa lo spazio, la tensione non diventa maggiore, e il vapore eccedente si liquefà; e ciò al contrario d'un gas, il quale ristretto in uno spazio minore aumenta la sua elasticità. Affondando il tubo nel mercurio lo spazio superiore diminuisce, si liquefà nuovo vapore e lo strato d'acqua superiore aumenta in altezza senza che sia diminuita la colonna di mercurio da cui si deduce la tensione. Progredendo ad affondare il tubo si giunge ad un punto dove non vi ha più vapore, trovandosi soltanto galleggiante sul mercurio la piccola colonnetta d'acqua allo stato liquido. Il limite di resistenza, oltre il quale il vapore diventa liquido, appellasi *tensione massima*. Il massimo di tensione varia nelle diverse sostanze evaporizzate e si determina nella stessa maniera col tubo

torricelliano. Al di sotto della massima tensione i vapori si comprimono come i gas e seguono come essi, entro certi limiti, la legge di Mariotte.

614. La tensione massima, oltre variare nelle diverse sostanze, si accresce colla temperatura. Alla temperatura ordinaria, come è quella di alcuni gradi del termometro, il vapore formatosi nel vuoto o nell'aria ha una debole tensione, come è quella del vapore che insensibilmente s'innalza nell'atmosfera dalla superficie delle acque. A misura che la temperatura aumenta diventa sempre più grande la tensione; sinchè giunto il liquido al grado dell'ebollizione la forza elastica è divenuta eguale ad un'atmosfera, vale a dire capace di tenere sollevata una colonna di mercurio di 76 centimetri d'altezza. Se oltre il punto dell'ebollizione si riscalda il liquido tenuto rinchiuso in un recipiente, si accresce ancor più la temperatura e con essa la tensione, la quale può diventare una forza poderosa capace di lanciare projettili e masse molto pesanti a grandi distanze, e di esercitare delle grandi pressioni come succede nelle machine a vapore. L'accrescimento della forza elastica in virtù del calore riesce molto differente nelle due specie di fluidi aeriformi, gas e vapori, quando però si dia allo spazio tutta la quantità di vapore necessaria per giungere alla tensione massima. Le forze elastiche dell'aria secca fra gli estremi di temperatura del ghiaccio deliquescente e dell'acqua bollente stanno nel rapporto di $1 : 1\frac{1}{3}$, diventando il volume dell'aria alla seconda temperatura 1,3665 (§. 611); mentre quelle del vapore acqueo, fra gli stessi limiti di calore in uno spazio saturato, sono fra loro all'incirca come 1 : 160.

Una massa vaporosa, inegualmente riscaldata nei suoi strati e rinchiusa in uno spazio qualunque, deve avere per l'equilibrio dappertutto l'egual tensione supposto che quello spazio non abbia una grande altezza da doversi computare il peso del vapore medesimo (§. 602). Ora non potendo nelle parti meno riscaldate la forza elastica avere la stessa grandezza della tensione massima delle parti elevate a maggior temperatura, è d'uopo che in quest'ultime la tensione diminuisca e divenga eguale a quelle dotate di minor calore. Dunque la massa vaporosa inegualmente riscaldata, una volta che siasi stabilito l'equilibrio, ha la stessa tensione in ogni sua parte eguale al massimo di quella delle parti, che hanno minor temperatura.

615. La cognizione della tensione massima del vapore acqueo im-

porta moltissimo non solo per le scienze, ma eziandio per la meteorologia e per le arti; ed è stata quindi argomento d'indagini e di studii di parecchi fisici dello scorso e del presente secolo. Della tensione massima del vapore acqueo, per ogni grado del termometro, non si avevano sino a questi ultimi anni che dati incerti e non molto sicuri per servirsene nelle valutazioni delle scienze e delle arti. A quattro si possono ridurre i metodi per la misura della tensione massima a differenti temperature: il primo coll'introdurre il vapore nel vuoto torricelliano e portarlo a temperature diverse, valutando la forza elastica dalla depressione della colonna di mercurio. Questo metodo è limitato e non serve per le temperature superiori a 100 gradi del termometro, ossia per le tensioni maggiori della pressione atmosferica. Il secondo metodo consiste a portare a differenti temperature il liquido rinchiuso in qualunque recipiente, in comunicazione diretta con un tubo di vetro disposto verticalmente, nel quale si elevano colonne di mercurio, che misurano la tensione. Il terzo metodo è quello di determinare il punto d'ebollizione del liquido in uno spazio, dove trovasi rinchiusa l'aria ad una data tensione. Col quarto metodo infine si misura la tensione massima con valvole più o meno aggravate di pesi, dai quali si deduce la tensione del vapore diretto a sollevarle (§. 607). Con quest'ultimo non si può giungere a determinazioni esatte per le parecchie sorgenti d'errore cui è sottoposto e principalmente per l'adesione e l'attrito delle valvole e per la compressione del bulbo del termometro destinato all'indicazione delle temperature. Per dimostrare in una scuola che la tensione massima cresce colla temperatura si possono istituire alcune sperienze con uno dei primi tre metodi.

Nelle determinazioni della scienza si richieggono molte diligenze, molte prove istituite con diversi metodi, termometri esattamente costrutti, disposizioni per conoscere le sorgenti d'errore che possono introdursi nelle osservazioni e per saperne valutare gli effetti e fare le opportune correzioni. Le sperienze di questa specie, che hanno dato i risultati più attendibili, sono quelle di Magnus e di Regnault, i quali quasi contemporaneamente l'uno all'insaputa dell'altro si sono occupati dello stesso soggetto (1). Le tensioni massime del vapore per ogni grado di temperatura, tanto al disotto come al disopra dello zero, si determinano con una formola fondata sulle sperienze istituite, incominciando dal grado minore sino a quello più elevato delle spe-

(1) Vedi gli *Annali di fisica, chimica* più volte succitati, tom. XVI. pag. 225.

rienze. Tanto l'uno che l'altro fisico hanno adottato una formola particolare, colla quale si ha la tensione che corrisponde a parecchi gradi sotto allo zero del termometro sino al grado d'ebollizione. I risultati ottenuti da Magnus e da Regnault si accordano fra loro, non essendovi mai differenze d'un millimetro fra quelli del primo cogli altri del secondo; per cui siamo indotti a prestare un'intera fiducia ai loro risultamenti. La formola adottata da Magnus è più semplice di quella di Regnault e d'altronde con essa si ottengono gli stessi valori (1). Essa è la seguente:

$$f=\overset{mm}{4,525}.10^{\frac{7,4475.t}{244,69+t}}$$

dove f dinota la tensione in millimetri di mercurio e t la temperatura in gradi del termometro centesimale. A 20 gradi sotto lo zero la tensione massima del vapor acqueo, prendendo la media dei risultati di Magnus e Regnault, è di millimetri 0,878; alla temperatura zero di millimetri 4,562; a 10° risulta di mill. 9,145; a 20° di mill. 17,393; a 30° di mill. 31,575; a 40° di mill. 54,937; a 60° di mill. 148,585; a 80° di mill. 354.284 ed a 100° di mill. 760 (2).

Per mostrare con un esempio l'uso della formola, cerchiamo la tensione per la temperatura $t=10°$; sostituendo e prendendo i logaritmi, si ha log. f=log. $4,525+\frac{74,475}{244,69}$. log. 10, ossia

log. $f=0,65562+0,30436=0,95998$, e quindi $f=\overset{mm}{9,120}$, cioè la tensione massima a 10° è di millimetri 9,12; e così si dica per tutte le altre temperature.

Per le tensioni superiori a 100 gradi serve la formola $f=(1+0,007153.t)^5$; dove f esprime la tensione in atmosfere di 760 millimetri, e t la temperatura in gradi del termometro centesimale. Questa formola è fondata sulle sperienze ed osservazioni istituite nel 1829 da Dulong ed Arago per commissione dell'accademia di Francia (3). Il solo coefficiente che entra in quell'espressione è stato dedotto dal termine più elevato delle loro osservazioni portate sino a 24 atmosfere, opinando essi che si possa estendere sino a 50 atmosfere senza incorrere in errore sensibile. Per le prime,

(1) Vedi il cuoitato tom. XVI degli *Annali*, pag. 238.

(2) Daremo al fine dell'opera in una tavola la tensione massima del vapor acqueo espressa per ogni grado del termometro centesimale.

(3) *Annales de chimie et de physique*, tom. XLIII, pag. 74 del 1830.

quattro atmosfere essi consigliano di far uso della formola di Tredgold

$f=\left(\frac{t+75}{75,05}\right)^6$, dove f esprime la tensione in millimetri e t i gradi centesimali, perchè essa si accosta di più alle loro osservazioni di quella adottata. Con queste formole si trova che a due atmosfere corrisponde la temperatura di 121°,4; a 4 di 145°,4; a 5 di 153°,1; a 10 di 181°,6; a 20 di 214,7; a 30 di 236°,2; a 40 di 252°,6; a 50 di 265°,9.

616. Le precedenti formole servono soltanto per ritrovare la tensione del vapore acqueo data la temperatura, ed all'inverso. Tuttavolta, ammettendo la legge proposta da Dalton, si può dalle tavole del vapore acqueo dedurre la tensione massima corrispondente ad una data temperatura del vapore di altro liquido. I liquidi bollono a differenti temperature dell'acqua, e per conseguenza la tensione di un'atmosfera dei loro vapori corrisponde a gradi differenti della temperatura del vapor acqueo. Dalton ritiene che, stabilito il grado di ebollizione d'un liquido o la temperatura che dà luogo al vapore della tensione di 760 millimetri od un'atmosfera; per le altre temperature, al disopra o al disotto di tal punto, le tensioni corrispondenti sono eguali a quelle del vapor acqueo a temperature, che si discostano dello stesso numero di gradi da 100° del termometro centesimale. L'alcoole, p. e., bolle a 78° centesimali, ossia a questa temperatura il suo vapore ha per tensione massima 760 millimetri; mentre una tale tensione pel vapore acqueo corrisponde a 100°: volendo quindi la tensione del vapore alcoolico a 58°, ossia a 20 al disotto del suo punto d'ebollizione, si cercherà nella tavola del vapor acqueo la tensione massima corrispondente a 100—20=80°, la quale, essendo di millimetri 354,284, esprimerà anche la tensione massima del vapore dell'alcoole a 58° centesimali. Con tale legge sarà facile di trovare la tensione massima del vapore di altri liquidi, p. e., quella dell'etere solforico che bolle a 38° centesimali. Questa legge però non si verifica rigorosamente; ed a distanze un poco grandi dal punto d'ebollizione essa si discosta sensibilmente dal vero. Si potranno però colla medesima avere dei risultati per approssimazione.

617. Il peso specifico non è eguale in tutti i fluidi aeriformi e la sua determinazione è fondata sugli stessi principii, che ci hanno guidati per ritrovare quello dei liquidi (§. 531) e dei solidi (§. 425). In questa sorta d'indagini però s'incontra grande difficoltà nel valutare

il volume delle diverse masse aeriformi, le quali, a differenza di quelle solide e liquide, lo cambiano facilmente per la più lieve variazione di pressione e di temperatura. Si richiede inoltre una grande cautela per evitare diverse altre cause d'errori, che possono introdursi nei risultati, e di cui bisogna tener conto per fare le opportune correzioni. Daremo un'idea del modo di procedere in questa specie di valutazioni incominciando primieramente dai gas e poscia passando ai vapori, pei quali è mestieri mettere in opera un maggior numero di cautele. Abbiamo già detto che i pesi specifici di questi fluidi si riferiscono all'aria atmosferica presa per unità di confronto (§. 137).

Per avere il peso d'un determinato volume di gas serve il pallone di vetro della figura 205, il quale deve avere almeno il diametro di tre in quattro decimetri, onde sperimentare sopra masse di peso sensibile. Si determina la capacità del pallone pesando la quantità d'acqua distillata, che contiene ad una data temperatura, e di cui ogni chilogrammo a 4° del termometro centesimale sappiamo essere di un decimetro cubico, facendo però la correzione per la perdita di peso nell'aria secondo il principio d'Archimede (§. 518). Si vuota il pallone dell'aria che naturalmente contiene, tenendo eziandio conto del residuo che vi rimane, e che non si può estrarre ben anche colle migliori machine pneumatiche. Si pesa il pallone vuoto e poscia pieno del gas. Si ha con ciò il peso assoluto di un volume noto di gas; e nello stesso modo si trova il peso dell'egual volume d'aria: dividendo il peso del gas per quello dell'egual volume d'aria, se ne avrà la gravità specifica (§. 138). Questo pallone è munito talvolta di due altre tubulature, in una delle quali s'introduce un termometro che indica la temperatura del gas in esso contenuto, ed all'altra si applica un manometro a sifone per cui si conosce la tensione dello stesso gas (§. 608). I gas da introdursi nel pallone devono essere ben purgati dall'umidità e dalle altre sostanze eterogenee, cui possono essere mescolati, ed a tal fine, avanti d'entrare nel pallone, si fanno transitare per tubi, dove vengono a contatto con reagenti capaci d'assorbire quelle sostanze. Bisogna altresì fare le opportune correzioni per la dilatazione non solo del gas ma ben anche del vetro, per cui si altera la capacità del pallone (1). Con esperienze istituite in tal modo Dumas e Boussingault hanno trovato pel

(1) Per tutte le cautele necessarie alla determinazione del peso specifico dei gas si veggano gli *Annali di fisica*, ecc., più volte citati, tom. V, pag. 195.

peso specifico dell'ossigeno 1,1057 e per quello dell'azoto 0,9720. Regnault si è occupato ultimamente del peso specifico d'alcuni gas ed ha trovato, alla temperatura zero e sotto la pressione di 760 millimetri, il peso di un litro o decimetro cubico di alcuni gas come segue (1)

Aria atmosferica	*grammi*	1,293187
Gaz azoto.	»	1,256167
Gaz ossigeno.	»	1,429802
Gaz idrogeno	»	0,089578
Gaz acido carbonico	»	1,977414

Secondo questi dati il peso specifico dell'azoto è di 0,97137, quello dell'ossigeno di 1,10563; quello dell'idrogeno 0,06926, e quello del gas acido carbonico 1,52901. I numeri rinvenuti da Regnault per l'ossigeno e l'azoto differiscono un poco da quelli trovati da Dumas e Boussingault, a malgrado del gran numero di diligenze, di prove e riprove usate da quegli abili sperimentatori; il che mostra la difficoltà di procedere con esattezza in tali determinazioni. Osservasi inoltre che Dumas e Stas hanno trovato con una serie di sperienze il peso del litro d'aria atmosferica di grammi 1,2995; mentre Biot ed Arago lo rinvennero di grammi 1,2991.

Confrontiamo la densità dell'aria atmosferica con quella dell'acqua e del mercurio, che sono due liquidi molto adoperati nelle sperienze della fisica. Regnault ha trovato che un litro di mercurio a zero gradi pesa grammi 13595,93, e d'altronde si sa che un litro d'acqua al massimo di densità o a 4° ha il peso di grammi 1000,00. Da ciò si deduce che l'acqua alla temperatura di 4° è poco più di 773 volte più pesante dell'aria a zero gradi; vale a dire che prendendo a zero anche l'acqua si può ritenere con molta approssimazione che questo liquido è 770 volte più pesante dell'aria. La densità del mercurio poi risulta di 13,59593, ossia esso è circa 13 volte e mezzo più pesante dell'acqua.

618. Si è detto che i fluidi aeriformi, di cui si cerca la gravità specifica, devono essere presi ad una temperatura e pressione costante stabilite; e che, quando si opera a temperature ed a pressioni differenti, è mestieri fare le opportune correzioni. Per dare una regola generale applicabile in qualunque caso, si dica V il volume del fluido aeriforme alla temperatura T ed alla pressione P, e v il vo-

(1) *Annali di fisica, chimica ecc. succitati, seconda serie, tom. I, pag. 335.*

lume cui si riduce alla temperatura t ed alla pressione p, e si noti con c il coefficiente di dilatazione (§. 611). I due volumi V, v alle temperature T, t saranno proporzionali alle quantità $1+cT$, $1+ct$, e siccome essi sono in generale anche nella ragione inversa delle pressioni P, p; così si avrà la proporzione $V : v :: \frac{1+cT}{P} : \frac{1+ct}{p}$, da cui si ricava $v=\frac{VP(1+ct)}{p(1+cT}$. Per dare qualche esempio dell'applicazione di questa formola, si abbiano 1000 centimetri cubici d'aria alla pressione $0^{m},80$ di mercurio ed alla temperatura di 20° centesimali; si domanda quale ne sarà il volume alla pressione media di $0^{m},76$ ed alla temperatura zero? Nel nostro caso è $V=1000$; $P=0,80$; $p=0,76$; $t=0$ e finalmente $c=0,003665$, che è la dilatazione dell'aria atmosferica per ogni grado del termometro (§. 611); per cui sostituendo questi valori si ha

$$v=\frac{1000\times 80}{76(1+20\times 0,003665)},$$

cioè $v=981$; quel volume d'aria dunque ridotto alla temperatura zero ed alla pressione media diventa 981 decimetri cubici.

619. La determinazione della gravità specifica dei vapori presenta un maggiore numero di difficoltà e d'incertezze di quella dei gas. I fisici si sono occupati principalmente del vapor acqueo, come quello di cui si ha maggior interesse di conoscere la densità pei diversi bisogni della scienza e delle arti. Possediamo ben un centinaio di valori della densità del vapor acqueo tutti fra loro discordanti (1). La determinazione del *peso*, del *volume*, della *temperatura* e della *tensione* richiede molt'avvedutezza nelle sperienze, molta sagacità nel conoscere ogni causa d'errore ed un numero indefinito di cure difficili e penose per giungere a risultati attendibili. Sinora i fisici si sono attenuti alla determinazione di Gay-Lussac, il quale soffiava diverse bolle di vetro, che riempiva d'acqua distillata e poscia chiudeva colla fusione dello stesso vetro. Dell'acqua rinchiusa stabiliva esattamente il peso, e poscia poneva la bolla piena d'acqua in una campana riempiuta di mercurio sopra un bagno dello stesso liquido. Col calore

(1) Se ne possono vedere quasi 50 di questi valori negli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, tom. XXII, pag. 234

dilatava l'acqua, faceva scoppiare la bolla e passare il liquido in vapore, del quale determinava colla maggior esattezza possibile il volume occupato, la temperatura e la tensione. In tal modo aveva i dati per valutare il peso specifico del vapore acqueo, sui quali ha fondato i suoi calcoli, che l'hanno condotto a stabilire che un grammo d'acqua ridotta in vapore alla temperatura di 100 gradi ed alla pressione $\overset{m}{0,76}$ occupa il volume di decimetri cubici 1,6964. Se quindi decimetri cubici 1,6964 di vapore pesano un grammo, un decimetro cubico dello stesso vapore sarà di grammi $\frac{1}{1,6964}=0,5895$. Gay-Lussac confrontando questo peso del vapore con quello d'egual volume o d'un decimetro cubico d'aria (§. 617), stabilisce per la densità del vapor acqueo $\frac{5}{8}$ ossia 0,625 relativamente a quella dell'aria presa per unità, il quale valore differisce di poco dalla densità teorica rappresentata da 0,622. Dumas usava un diverso procedimento, col quale poteva spingere il calore al gradi superiori all'ebollizione dell'acqua. Egli si serviva d'un pallone ben essiccato e determinava la densità dei vapori di parecchie sostanze. Schmeddink pubblicò un lavoro sulla determinazione del peso specifico dei vapori e principalmente di quello acqueo (1) a saturazione nell'aria ed a differenti temperature; ed ha trovato che la densità del vapor acqueo a saturazione aumenta colla temperatura. Regnault ha ripreso l'argomento con molte sperienze per decidere un tal punto, il quale è capitale per l'igrometria (2), ed è giunto alla conseguenza che *la densità del vapor acqueo, nel vuoto e sotto deboli pressioni, può essere calcolata secondo la legge di Mariotte; e lo stesso è del vapore nell'aria a basse temperature.* L'autore ha cercato di ottenere le densità del vapor acqueo a saturazione nell'aria per temperature più elevate; ma egli fa osservare che i risultati non presentano più le medesime guarentigie d'esattezza. Infine ha trovato altresì che da 23 a 43 gradi centesimali i pesi dati dall'esperienza sono un poco più grandi di quelli valutati col calcolo; il che dipende dal trasporto di goccioline liquide. Le differenze però giungono di rado ad $\frac{1}{100}$ della quantità

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, di Poggendorff, tom. XXVII, pag. 40.
(2) Vedi gli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, tom. XXII, p. 233.

totale. Qualunque ne sia la causa egli conchiude che *prendendo per base la tavola delle tensioni del vapor acqueo nel vuoto da lui stabilite ed ammettendo che la densità del vapore sia costantemente eguale a 0,622 detta 1 quella dell'aria nelle stesse circostanze, il peso del vapor acqueo calcolato differisce soltanto dalla quantità reale d'una frazione assai piccola, cioè di circa un centesimo.*

620. Ammettendo i precedenti risultati si può stabilire una formola per avere le densità del vapore acqueo a saturazione in rapporto all'aria, conosciute le tensioni ch'esso prende a temperatura data. Siano infatti D, d le densità del vapore a saturazione per le temperature T, t e sotto le pressioni P, p; i volumi saranno proporzionali alle quantità $1+cT$, $1+ct$, dove c è il coefficiente di dilatazione. Siccome poi le densità sono in ragion diretta delle pressioni ed inversa dei volumi, così si avrà: $D : d :: \frac{P}{1+cT} : \frac{p}{1+ct}$, da cui si ricava $d=\frac{pD(1+cT)}{P(1+ct)}$. Ora si conosce la densità $D=0,622$ del vapore acqueo alla temperatura $T=100°$ ed alla pressione $P=760$; ed altronde si ammette secondo Regnault che il medesimo segua la stessa legge di pressione dell'aria ed abbia lo stesso coefficiente di dilatazione 0,003665 della medesima; perciò sostituendo si avrà:

$d=\frac{p.0,622\times1,3665}{760(1+0,003665.t)}$, la quale con alcune operazioni aritmetiche si riduce a $d=\frac{p.\ 2,44}{2182,65+8t}$.

Vogliasi per esempio conoscere la densità del vapore alla temperatura $t=0$, alla quale secondo la tavola di Regnault è $p=4,6$; sostituendo nell'ultima formola alle lettere p, t i loro valori, si ottiene $d=0,00514$ che è la densità del vapore acqueo richiesta. Le densità dunque a 100 ed a zero gradi stanno nel rapporto di 0,622 : 0,00514 ossia come 121 : 1; vale a dire che il vapore dell'acqua bollente alla pressione ordinaria è 121 volte più denso del vapore a zero gradi del termometro. Per la temperatura $t=25°$, è $p=23,55$ e quindi si ha per la densità del vapore acqueo $d=0,0241$. Di pochi gradi sopra 110 il vapore acqueo ha già la densità maggiore dell'aria. Operando in tal maniera si potrà costruire una tavola delle densità del vapore acqueo di grado in grado del termometro centesimale rispettivamente a quello dell'aria presa alla pressione ed alla temperatura ordinaria.

621. Le densità dei vapori degli altri liquidi danno luogo ad osservazioni analoghe a quelle del vapor acqueo; vale a dire che alla tensione massima le densità aumentano colla temperatura. Da ciò si deduce che i liquidi, rinchiusi in spazii determinati, si possono fare scomparire all'occhio coll'aumentare la loro temperatura diffondendosi uniformemente nel medesimo allo stato di vapore.

Questa deduzione della teorica fu confermata coll'esperienza da Cagniard de La Tour, il quale mostrò un tal fenomeno con l'acqua, l'alcoole, l'etere ed il solfuro di carbonio. Egli si serviva d'un tubo incurvato di vetro assai robusto il cui braccio più corto aveva 4 in 5 millimetri di diametro e conteneva il liquido, e il più lungo soltanto un millimetro e conteneva dell'aria. Il liquido e l'aria erano separati da mercurio, il quale, respinto dalla tensione del vapore, poteva trascorrere nella lunghezza del tubo ad aria. Essendo chiusi i due rami, la colonna d'aria compressa faceva la funzione di manometro per misurare la tensione. La temperatura veniva data da quella del bagno d'olio, dove era immersa la parte inferiore dell'apparecchio o il ramo di maggior diametro. L'istante della scomparsa del liquido e della sua compiuta riduzione in vapore avveniva per l'alcoole, con una dilatazione di quasi il triplo del suo primitivo volume, a 259° centesimali ed a 119 atmosfere; per l'etere con quasi il doppio di volume, a 200 gradi ed a 37 atmosfere; pel solfuro di carbonio a 275 gradi ed a 78 atmosfere, infine per l'acqua con una dilatazione di circa quattro volte il suo volume, che produsse la rottura del tubo.

622. Quantunque i fluidi aeriformi abbiano differente peso specifico, essi però non si dispongono nello stesso spazio secondo l'ordine della loro densità come i liquidi (§. 503), ma vi si distribuiscono uniformemente; e così pure si mescolano gli uni cogli altri quando si trovano in vasi comunicanti, non diportandosi anche in ciò come i liquidi (§. 512). Si è già veduto che il vapore acqueo si mescola all'aria uniformemente, quantunque meno pesante di essa; e questo rimescolamento non solo succede fra un fluido permanente ed uno non permanente, ma anche si riscontra nei gas fra loro e pare anche nei vapori. Talchè si ammette per la mescolanza dei fluidi aeriformi il principio generale seguente: *Introducendo in un medesimo spazio diversi fluidi aeriformi, le cui molecole non esercitino fra loro azione chimica, ciascuno si diffonde uniformemente in quello spazio, e la tensione della mescolanza è eguale alla somma delle tensioni rispettive, di cui ciascun fluido sarebbe nel medesimo dotato.*

Digitized by Google

In due palloni di vetro, muniti di viera e di tubo a chiavetta d'ottone, si sono introdotti due differenti gas, di peso specifico molto differente e tali da non esercitare l'uno verun'azione chimica sull'altro. Nel primo si conteneva del gas idrogeno, nel secondo del gas acido carbonico. All'estremità superiore d'un tubo verticale si congiunse il pallone dell'idrogeno, ed all'inferiore quello dell'acido carbonico. I due recipienti corrispondevano in ambienti mantenuti all'egual temperatura. Aprendo le chiavi dei globi, i due gas furono posti in comunicazione pel tubo, ed obbedendo alle loro densità l'acido carbonico, come molto più pesante dell'idrogeno, doveva rimanere nel pallone inferiore e l'altro gas in quello superiore. Osservando dopo un certo tempo i fluidi aeriformi nei due palloni, si trovò invece che i gas si erano uniformemente in essi distribuiti; l'acido carbonico essendosi elevato per metà del suo volume a riempiere il posto dell'idrogeno, il quale discese nel recipiente a malgrado della sua tenuissima densità. Questo sperimento è stato istituito da Dalton e da altri in Inghilterra, da Berthollet in Francia e da Vassalli-Eandi in Italia, sempre coll'egual effetto. Quanto ha luogo per due gas si verifica eziandio per un gas ed un vapore.

Ciascun fluido aeriforme si diffonde in uno spazio doppio di quello prima occupato, supponendo i palloni d'eguai capacità; se quindi la loro tensione rispettiva era p, sarà diventata in ciascuno $\frac{p}{2}$. Per cui la tensione totale della massa aeriforme, contenuta in ogni globo, risulta $\frac{p}{2}+\frac{p}{2}=p$ come prima, non essendo variate le pressioni e le temperature che avevano i due gas avanti il loro rimescolamento. Quest'uniforme distribuzione dei fluidi gazosi succede in virtù della loro forza espansiva, di cui non sono dotati i liquidi; la qual forza verrebbe disturbata nella sua azione se i due fluidi avessero fra loro affinità. In uno spazio chiuso pieno d'aria alla pressione p, s'introducano alcune gocce d'acqua: queste passano in vapore, che si mescola con quel gas manifestando la tensione f, e da quanto si è detto il miscuglio manifesterà l'elasticità $p+f$. Che se questa elasticità è misurata da una colonna di mercurio, che cede all'elaterio della massa aeriforme, allora l'aria si dilata e con ciò vien meno la sua primitiva pressione p. Per valutare in questo caso l'elasticità del miscuglio, si chiami V la capacità primitiva, in cui l'aria aveva la pressione p, e si dica q l'aumento di spazio prodotto dal ritirarsi del mercurio. Dalla legge di Mariotte si avrà la pressione,

che per tale aumento di volume prende l'aria, dalla proporzione: $V+q : V :: p : x=\frac{Vp}{V+q}$ e quindi l'elasticità del miscuglio risulterà $f+p\frac{V}{V+q}$.

623. Il rimescolamento dei fluidi aeriformi interessa principalmente la nostra scienza in ciò che riguarda l'aria od altro gas col vapor acqueo, costituendo in questo caso l'*igrologia* o quella parte della scienza che si occupa dell'umidità dell'aria e degli ambienti, e del modo di valutarla nelle diverse circostanze.

Credevasi per lo passato che l'acqua si diffondesse allo stato di vapore nell'aria per una proprietà solvente di questo fluido elastico, cioè che l'acqua si sciogliesse nell'aria in un modo consimile a quello con cui i sali sciolgonsi nell'acqua. Ma si è veduto che la formazione dei vapori è eguale in uno spazio tanto che esso sia vuoto quanto pieno d'aria, e che la quantità d'acqua evaporata dipende interamente dalla temperatura (§. 612). L'aria, che ai nostri occhi sembra la più asciutta e si presenta colla sua ordinaria trasparenza, tiene sempre mescolata una quantità più o meno grande di vapor acqueo. Fenomeno generale ed esteso è la diminuzione dei liquidi, che sono esposti all'aria aperta o in ambienti ventilati. Una certa quantità di acqua, versata in un bicchiere, in una tazza, e lasciata esposta all'aria, si trova dopo un certo tempo sensibilmente diminuita e nel corso di alcuni giorni del tutto scomparsa, essendo passata in vapore. Le circostanze favorevoli per promuovere l'evaporazione dell'acqua, dipendono dall'elevazione della temperatura e dal cambiamento continuo dell'aria, che viene a contatto colla superficie del liquido, perchè in questo caso si presenta sempre nuovo spazio mancante di umidità per giungere il vapore alla tensione massima richiesta dalla temperatura dell'ambiente. A questo punto la tensione del vapore già formato e la forza elastificante riescono eguali, e quindi cessa ogni ulteriore evaporazione. L'igrologia diventa per tal modo un caso particolare della mescolanza dei vapori coi gas; e quanto diremo di essa è applicabile in generale al modo con cui si rimescolano quelle due specie di fluidi aeriformi.

Primieramente faremo notare che chiamansi *igroscopi* quegli strumenti, che manifestano le variazioni d'umidità dell'aria, d'un corpo o d'un ambiente, senza però darne la misura; mentre si dicono *igrometri* quegli apparati che servono a valutare il grado d'umidità, a rintracciarne la giusta misura, ed a somministrare i dati per de-

terminare la quantità di vapori acquei, che trovansi diffusi in un noto volume d'aria o di qualunque altro gas.

624. Abbiamo veduto che i vapori hanno una tensione massima, al di là della quale, venendo maggiormente compressi, passano allo stato liquido (§. 613). Si è veduto altresì che la medesima dipende interamente dalla temperatura, e pei diversi gradi del termometro si hanno differenti tensioni massime del vapore acqueo, che sono state disposte in tavole e si rinvengono colla formola altrove riferita fondata sull'esperienza (§. 615). Ora in un ambiente o in un ammasso d'aria o di qualunque altro gas può essere diffusa la quantità di vapor acqueo necessaria per la tensione massima richiesta dalla temperatura: oppure esistervene una porzione soltanto, e trovarsi in istato da poterne ricevere sino a quel limite. Nel primo caso basterebbe un piccolo accrescimento di pressione o una lieve diminuzione di temperatura per far passare allo stato liquido il vapore di quello spazio; nel secondo invece l'accrescimento di pressione o la diminuzione di temperatura all'uopo dovrebbe essere tanto più grande quanto più il vapore sparso è distante dal massimo di tensione. D'altra parte i corpi, che hanno adesione od affinità coll'umido, potranno assorbirne con maggior facilità immersi che siano nell'ammasso aeriforme o nello spazio dove il vapore acqueo è alla massima tensione che in quello dove la tensione stessa non è portata a questo limite.

Da questo si deduce che il *grado d'umidità* è espresso dal rapporto fra la quantità d'acqua contenuta in un dato ambiente o spazio allo stato di vapore, e la quantità totale che lo spazio medesimo ne può contenere all'attuale temperatura, ossia alla massima tensione di cui il vapor acqueo è suscettibile; sia che tale rapporto si riferisca al peso di quella quantità d'acqua cioè alla densità corrispondente del vapor acqueo, sia che si misuri per mezzo delle due tensioni, l'attuale e la massima, alla temperatura cui si trova lo spazio. Imperocchè le tensioni, a temperature eguali, sono proporzionali alle densità od ai pesi del vapore, che si contiene in un determinato volume. Per tal modo se in un metro cubico, qualunque sia il gas da cui è occupato e la pressione a cui si trova, si contiene uno, due, tre ecc. centesime parti del vapor acqueo, che vi si può formare alla temperatura attuale ed al massimo di tensione; il gas si dirà avere uno, due, tre ecc. gradi d'umidità. Il grado d'umidità estrema, ch'è quello in cui la tensione attuale del vapore diventasse massima, risulterà lo stesso qualunque sia la

temperatura dell'ambiente e sarà espresso per ciò dal valore assoluto di questa massima tensione.

Ciò posto si chiami F la tensione massima del vapor acqueo alla temperatura, cui si trova l'aria o lo spazio che si considera; f la tensione attuale che il vapore esercita, ed u l'umidità di quell'aria o di quello spazio: si avrà per l'espressione dell'umidità $u=a.\frac{f}{F}$, dove a è una costante dipendente dall'unità che si prende per la misura di u. Se si adotta per unità l'umidità estrema stessa, che si ha quando è $f=F$ dove in tal caso diventa $u=1$, si ha $a=1$, e l'equazione si riduce semplicemente ad $u=\frac{f}{F}$. Volendo poi prendere per unità, come si usa, la centesima parte dell'umidità estrema, facendo questa eguale a 100, sarebbe in tal caso ancora $f=F$ ed $u=100$, e quindi $a=100$ e l'equazione diventerebbe $u=100\frac{f}{F}$. Dall' idea che abbiamo dato dell'umidità si scorgerà di leggieri che non bisogna confondere quest'umidità colla quantità assoluta d'acqua che può essere diffusa in vapore nell'aria. Infatti un'aria alla temperatura di pochi gradi contiene abbastanz'acqua in vapore per essere questo vicino alla tensione massima, di cui è suscettibile alla temperatura medesima, e quindi l'aria stessa è molto umida; al contrario un'aria di parecchi gradi di calore contiene molt'acqua allo stato di vapore, ma questo è ancor distante dalla tensione massima di cui è suscettibile l'aria a quella temperatura, per cui l'umidità in questo caso riesce minore. Avviene pertanto che d'inverno l'aria, quantunque contenga poc'acqua, è molto umida; mentre d'estate ne contiene d'ordinario in maggior quantità e riesce meno umida.

625. Si osservi che F è una funzione della temperatura, determinata dalle formole superiormente riferite (§. 615), e nel nostro caso da $F=\overset{mm}{4,525}.\ 10.\frac{7,4475.t}{234,69+t}$, che esprime la tensione massima F del vapor acqueo alle diverse temperature t, e il cui valore si può sostituire nell'equazione precedente dell'umidità. Da ciò si ricava che u dipende realmente da due variabili, la tensione attuale f del vapor acqueo e la temperatura t. Il grado d'umidità dell'aria o di un ambiente qualunque può dunque cangiare, cangiando il valore di quelle due quantità, la tensione f e la temperatura t, dove la prima f può variare tanto coll'aumentare o col diminuire la quantità d'acqua ri-

dotta in vapore in quello spazio, quanto col restringere o coll'ingrandire lo spazio medesimo. Ne conseguita quindi che l'umidità può essere cambiata nelle tre seguenti maniere: I. Aggiungendo o levando vapore dal dato volume d'aria o dal dato spazio; II. Accrescendo o diminuendo questo spazio colla diminuzione o coll'aumento della pressione, senza lasciare che vi si aggiunga nuovo vapore; III. Elevando o abbassando la temperatura, e per conseguenza il massimo di tensione del vapor acqueo, che vi si può formare. Nelle prime due maniere cambia la tensione f del vapore, nell'altra non si varia che il rapporto colla massima tensione.

626. Dalle tre maniere dichiarate, con cui può variare l'umidità, si traggono i principii sui quali è fondata la costruzione dei diversi igroscopi ed igrometri, e dai quali dipendono altresì alcuni fenomeni di cambiamento d'umidità in un ambiente.

I) Si può togliere vapor acqueo ad un volume d'aria esponendo in essa delle materie, come sali, ossidi, acidi, sostanze animali o vegetali, che abbiano grande adesione od affinità per l'acqua; come pure certi corpi porosi che agiscono per azione capillare sull'acqua. Si può giungere in tal modo eziandio alla perfetta essiccazione dell'aria, rinnovando quelle materie. Siccome poi queste materie nell'assorbimento dell'umidità aumentano di peso o cambiano le loro dimensioni; così si può da un tal aumento o cambiamento aver un indizio e ben anche giudicare del grado d'umidità dell'aria. Su questo principio sono fondati tutti gli *igroscopi* e gli *igrometri ad assorbimento*, e il *metodo chimico* per valutare l'umidità.

II) Aumentando la pressione si obbliga il vapore a restringersi in minore spazio; talchè si può giungere ad un punto in cui lo stesso vapore abbia la tensione massima, ed allora con un nuovo aumento di pressione il vapore si depositerebbe allo stato liquido. Questo principio potrebbe servire di mezzo igrometrico.

III) La diminuzione della pressione lascia libera l'espansione dell'aria, e quindi anche la tensione del vapore in essa sparso, per cui si dilatano in un maggior volume, producendosi così una diminuzione nella forza elastica del vapore esistente, e perciò eziandio una diminuzione nel rapporto di questa tensione o forza elastica con quella massima, ossia una diminuzione nell'umidità. Egli è per tal motivo che a misura si rarefà l'aria nel recipiente della machina pneumatica, i corpi igrometrici posti in esso danno segni di diminuita umidità e si disseccano.

IV). Misurando la tensione f' del vapore acqueo da aggiungersi al

preesistente nell'aria per ottenere il massimo di tensione, si viene a conoscere la tensione primitiva e quindi il suo rapporto colla massima medesima, ossia il grado di umidità. Si determina così $f'=F-f$, da cui $f=F-f'$, e quindi il grado di umidità $\frac{f}{F}$. Su questo principio io appunto ho imaginato l'*igrometro a tensione*.

V) Il cambiamento di temperatura ci offre pure un altro mezzo per valutare il grado d'umidità. Raffreddando l'aria sinchè essa incomincia a deporre una parte della sua umidità condensata in acqua, la temperatura cui si troverà abbassata sarà quella corrispondente alla tensione del vapor acqueo contenuto nell'aria, considerata la tensione come massima alla temperatura medesima. Questa tensione F' sarà immediatamente conosciuta dalla tavola costrutta colla formola surriferita. La tensione f alla temperatura attuale t si deduce dal sapere che le tensioni dei vapori, alla stessa densità ed a diversa temperatura, sono in ragion diretta dei volumi che prenderebbero per queste temperature, cioè sarà $f : F' :: 1+ct : 1+ct'$, da cui $f=\frac{F'(1+ct)}{1+ct'}$. Siccome poi è $u=\frac{f}{F}$; così sarà $u=\frac{F'(1+ct)}{F(1+ct')}$, dove t è la temperatura attuale, t' quella ottenuta nell'abbassamento per ridurre il vapore acqueo sparso nell'aria alla tensione massima F', ed F la tensione massima corrispondente alla temperatura attuale. Su questo principio sono fondati *gli igroscopi e gli igrometri a condensazione*.

627. Gl'igroscopi e gl'igrometri finora costrutti si possono ridurre a tre classi distinte. I. *Gli igroscopi e gli igrometri ad assorbimento;* II. *A tensione*; III. *A condensazione*. Noi passeremo in rivista questi diversi strumenti, incominciando dagli igroscopi della prima classe.

Gl'igroscopi della prima classe si appoggiano, come si disse, sulla proprietà di cui sono fornite alcune materie di attrarre a sè l'umidità. Queste materie in un ambiente umido assorbiscono del vapore, ed a misura che s'impossessano di quest'umidità scema in loro la facoltà per attrarla, per la ragione che l'adesione al pari dell'affinità va diminuendo avvicinandosi al punto di saturazione, dove è nulla (§. 22). Si giunge quindi ad un punto ove cessa l'assorbimento dell'umidità, per essere eguali le due forze, di *tensione* del vapor acqueo o forza evaporizzante e d'adesione della materia per questo vapore. Il corpo igroscopico avrà allora acquistato il massimo au-

mento di peso determinato per quello stato d'umidità, o subita la maggior alterazione nelle sue dimensioni volute dall'umidità medesima. All'inverso passando un corpo già saturo d'umidità in un mezzo più secco, la forza evaporizzante del liquido, di cui è imbevuto, acquista una prevalenza sull'adesione, e porzione del liquido stesso si trasforma in vapore, tendendo così ad acquistare il peso primitivo ed a riprendere le dimensioni che aveva. Nel primo caso si avrà dunque un indizio di luogo umido, nel secondo d'ambiente secco relativamente allo stato del corpo igroscopico.

I capelli, le penne, le corde di minugia, di lino e di altre materie, le vescichette di alcuni animali come quella di pesce, la sottile pelicola delle uova, alcune esili membrane animali, le reste di certe piante, le falde di diversi legni, le listarelle di carta, la pergamena, l'osso di balena e diversi altri corpi assorbono l'umidità, per la quale non solo aumentano di peso ma sono alterati nelle loro dimensioni. Generalmente l'umidità ne aumenta la lunghezza; ma in alcuni corpi l'accorcia, come succede nelle funicelle di lino che s'ingrossano per l'umido e diventano più corte, mentre le listarelle di carta inumidite si allungano. Questi effetti opposti dipendono dal differente modo di preparazione di quei corpi. Parimenti alcune materie alcaline e saline, fra le quali la potassa, il cloruro di calce, il sal comune; come pure alcuni acidi come il solforico e diverse sostanze porose attraggono pure l'umidità, per la quale si altera il loro peso. Tutti quei corpi, che hanno semplice adesione col vapore, possono dunque servire per la costruzione degli igroscopi e degli igrometri ad assorbimento; e quelli che hanno affinità per operare con processi chimici.

Fra i diversi mezzi proposti per indicare o per misurare l'umidità, quello di più antica data è l'*igrometro ad assorbimento* di Leonardo da Vinci, la cui invenzione risale sino al XV secolo. Esso consiste in una specie di bilancino molto sensibile sopra un cui guscio si colloca un sale atto ad attrarre a sè l'umidità, che si mette in equilibrio con pesi posti sull'altro guscio. Se l'aria ambiente è umida, il sale ne assorbe il vapore, aumenta di peso e rompe l'equilibro del bilancino facendolo tanto più traboccare quanto è maggiore l'umidità. Lo squilibrio è indicato da un indice che corrisponde all'asse del bilancino e trascorre sopra un arco graduato (1). Questo strumento non è un

(1) Si vegga l'opuscolo di Venturi, che ha per titolo: *Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Leonard de Vinci, avec des fragmens tirés de ses manuscrits apportés de l'Italie.* Paris 1797. Letto all'Istituto nazionale di Francia. In questo opuscolo si fa menzione alla pag. 28 dell'istrumento igroscopico di Leonardo rappresentato nella fig. 15 del medesimo.

igrometro, ma soltanto un igroscopio: imperocchè esso non dà la giusta misura dell'umidità, ma soltanto un'indicazione. D'altronde è soggetto a parecchi inconvenienti, come sarebbero i movimenti prodotti dall'agitazione dell'aria, le esilissime particelle vaganti nell'atmosfera, che si depositano sui gusci, e ne alterano l'equilibrio.

628. Nel commercio si trovano, sotto la denominazione d'igrometri, alcune figurine di carta, che innalzano il parapioggia quando l'aria è umida e l'abbassano quando il tempo tende al secco. Alle volte la figura fa subire gli stessi movimenti ad una cartolina rappresentante il cappuccio dell'abito, che s'innalza e copre la testa quando il tempo è umido, e l'abbassa scoprendola quando è secco. Questi movimenti sono prodotti da una corda di minugia avvolta ad un cilindretto, che fa parte della figurina. La cordicella è assicurata per un capo al cilindretto; mentre per l'altro è attaccata ad un braccio di leva che coll'altro braccio comunica i movimenti al parapioggia, al cappuccio e simili. Essendovi nell'aria eccesso d'umidità, questa è assorbita dalla corda di minugia, che s'ingrossa, si raccorcia e tira il braccio di leva, la quale coll'altro braccio innalza il corpo, cui è applicata. Avviene al contrario quando al tempo umido succede un tempo secco: la corda di minugia perde per evaporazione l'umidità assorbita, si allunga, rallenta la trazione del braccio di leva, che, pel peso che sostiene, lascia riprendere al corpo la primitiva posizione. Questi strumenti non danno veruna misura dell'umidità, ma indicano soltanto lo stato più o meno umido dell'aria in un tempo relativamente ad un altro: essi sono perciò semplici igroscopi ad assorbimento. Questi igroscopi hanno ricevuto altre diverse forme, che sono piuttosto oggetto di curiosità pel volgo che d'interesse per l'igrologia.

Il padre Mersenne avea pensato, con un congegno apposito, di tener tesa una corda di minugia, e dal tuono più acuto o più grave che si ottiene giudicare della maggior umidità e della maggior siccità. Ma non tutti coloro, che desiderano ed a cui interessa di conoscere lo stato igrometrico dell'atmosfera, hanno l'orecchio educato in modo da poter giudicare delle minime gradazioni dei suoni prodotti da una corda più o meno tesa. D'altronde bisognerebbe in tali giudizi avere un tuono di confronto, per determinare se quello della corda di minugia è diventato più grave o più acuto (1). Con questo

(1) *Traité des baromètres, thermomètres et hygromètres*, par Dalencé. Amsterdam 1688

metodo d'altronde si avrebbe un semplice igroscopio ad assorbimento.

629. Chiminello ha cercato di costruire un igrometro comparabile, adoperando per corpo igroscopico il cannello d' una penna d' oca. Egli ne ha pubblicato la descrizione in una memoria per la quale ottenne il premio nel 1783 dall'accademia di Manheim (1). Raschiava il cannello in modo da ridurlo molto sottile, lo empiva di mercurio e vi univa un tubo capillare di vetro, che teneva assicurato con filo di seta, ed empiva in parte pure di mercurio. La sostanza del cannello, assorbendo l' umidità, aumenta di capacità ed il mercurio si abbassa nel tubo; all' inverso, l' ambiente essendo secco, l' umidità svapora, il cannello si restringe e il mercurio sale nel tubo. Stabiliva il punto dell' umidità estrema immergendo il cannello nell' acqua, e quello della massima siccità esponendolo al sole in un' atmosfera asciutta ed alla temperatura di 25 gradi ottagesimali. Ne divideva poscia l' intervallo in 100 parti eguali. Le indicazioni dell' igrometro di Chiminello sono somiglianti a quelle del termometro (§. 134); anzi l'istrumento ha l'inconveniente che le indicazioni igrometriche possono essere poco o tanto variate da quelle termometriche, prodotte tanto dalla dilatazione del cannello quanto da quelle del liquido. D' altronde i gradi, come centesime parti dell'intervallo fra i due punti estremi, non segnano parti corrispondenti dell'umidità massima, ossia non danno il rapporto $\frac{f}{F}$ (§. 624).

630. Dell' igrometro ad assorbimento si occupò de-Luc, variando primieramente il corpo igroscopico nello strumento di Chiminello coll' applicarvi, invece del cannello di penna, un cilindro cavo di avorio a pareti molto sottili. L'avorio riesce meno sensibile all' umidità del cannello di penna. De-Luc cercò nello stabilire la scala di ottenere un compensò pei gradi di temperatura. Ma anche questo strumento è stato abbandonato per parecchi inconvenienti (2), e l'autore pensò ad un altro fondato pure sulla proprietà, che hanno alcune materie di assorbire l'umidità.

(1) *Ricerche sulla comparabilità dell'igrometro*, inserita nel *Giornale enciclopedico* di Vicenza del 1785. Si veggano anche gli *Opuscoli scelti* pubblicati a Milano dall'Amorétti, tom. IX, parte 4a.

(2) Si veggano le *Transazioni filosofiche della Società reale* di Londra, tom. LXIII, N° 38.

De-Luc si è servito d'una sottile laminetta d'osso di balena, che si attacca per un'estremità ad un punto fisso x d'un telaio di legno o di metallo ABCD (*fig* 215), e per l'altra ad un filo g avvolto ad un rocchetto. La laminetta è tenuta tesa da una piccola molla z a spira di metallo. L'asse del rocchetto porta una lancetta, che può girare sopra un cerchio graduato EF concentrico al rocchetto. La laminetta d'osso di balena, assorbendo l'umidità, si allunga, e perdendola si raccorcia; queste variazioni nella lunghezza fanno movere il rocchetto e quindi la lancetta in un verso o nell'opposto, ed indicano in tal modo le variazioni d'umidità o di siccità. Gli estremi della scala si determinano immergendo nell'acqua la laminetta per la massima umidità, e per l'altro punto ponendo lo strumento sotto una campana unitamente a qualche sale deliquescente ben disseccato al fuoco, come sottocarbonato di potassa, cloruro di calce ecc., che sono molto atti ad assorbire l'umidità dell'aria. L'intervallo è diviso in 100 parti eguali che notano i gradi d'umidità. Questo strumento è quello conosciuto sotto il nome d'*igrometro di de-Luc.*

631. L'*igrometro di Saussure* differisce di poco in quanto alla costruzione meccanica da quello di de-Luc. Esso è rappresentato nella *fig.* 216, dove il corpo igroscopico è un capello umano ben purgato dall'untuosità, che possiede naturalmente, tenuto teso da un pesetto p invece della molla a spira. I capelli ad uso dell'igrometro sono riuniti in ciocche, avvolti in pannolino, e bolliti per una mezz'ora in acqua che tiene in soluzione 1/10 circa del suo peso di solfato di soda. Si estraggono poscia e si distendono per asciugare all'ombra. I più lucidi sono i migliori per l'uso igrometrico. Saussure stabiliva l'estrema umidità ponendo lo strumento sotto una campana, di cui umettava a più riprese le pareti sino a che l'allungamento del capello era divenuto stazionario. L'estrema siccità veniva determinata sotto una campana dapprima ben riscaldata, e dove era disseccata l'aria con sali avidi dell'umidità, come faceva de-Luc. L'intervallo è pure diviso in 100 parti eguali, che costituiscono i gradi dell'umidità.

De-Luc fece conoscere le imperfezioni del capello adoperato come corpo igroscopico, e s'impegnò tra lui e Saussure una lunga controversia sulla preferenza da darsi all'uno o all'altro dei corpi igroscopici, e molte obbiezioni fecero altri fisici contro il capello. Queste discussioni indussero Saussure a migliorare il suo strumento e ad istituire un gran numero d'indagini sull'igrologia, pubblicando un'opera molto stimabile ai tempi in cui fu scritta, per avere egli in essa get-

tato i fondamenti di questa parte importante della fisica (1). È appunto all'appoggio di quest'opera che l'igrometro a capello si mantenne, come strumento della scienza, sino a questi ultimi anni, e che parecchi fisici cercarono con tavole desunte da sperimenti diversi di mettere d'accordo le indicazioni di quell'igrometro coi gradi della vera umidità. A malgrado però di tutti gli sforzi fatti da Gay-Lussac, da Melloni, da Prinsep e da qualche altro; e a malgrado delle formole di Biot per calcolare coi gradi, ottenuti per mezzo dell'igrometro di Saussure, la misura dell'umidità, lo strumento del fisico ginevrino venne sempre più riconosciuto improprio per gli usi scientifici, sinchè in questi ultimi anni fu interamente abbandonato. Regnault ultimamente lo confrontò con metodi più rigorosi e riconobbe pure l'igrometro a capello uno strumento non proprio a somministrare la giusta misura dell'umidità (2).

632. Per gli usi della società si trova in commercio un igrometro somigliante a quello di Saussure, essendosi sostituito al capello una membrana animale e principalmente la tunica villosa, una corda di minugia, ed altri corpi igroscopici di tal natura. Gli artefici, che lo mettono in commercio, sogliono dargli la forma rappresentata nella *fig.* 217. Il corpo igroscopico ed il rocchetto, sono collocati di dietro la tavoletta di legno *ab*, su cui havvi fisso anche per l'uso un termometro. Il punto della massima umidità viene stabilito comunemente collocando lo strumento in un sotterraneo non ventilato e dove l'aria è carica di vapori acquei; l'altro estremo della scala è segnato esponendo lo strumento in un luogo ventilato e riscaldato. Da queste notizie intorno agli strumenti che si mettono in commercio sotto il nome d'igrometri, ognuno potrà giudicare ch'essi possono soltanto essere ritenuti come semplici indicatori dell'umidità.

In generale osserveremo, intorno agli igrometri ad assorbimento, che essi, essendo formati d'una materia organica che si altera co tempo e si consuma, non potranno mai servire di strumenti misuratori dell'umidità, quand'anche ai primi momenti della loro costruzione fossero disposti in maniera di dare i gradi in esatta relazione colla vera misura dell'umidità.

633. Alla categoria degli igrometri ad assorbimento appartiene il *metodo chimico* per istabilire il grado d'umidità. Esso consiste nel

(1) *Essai sur l'hygrométrie*, che ha pubblicato nel 1787 e poscia ampliato e migliorato con una nuova edizione.

(2) Vedi *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, t. XXIII, p. 55 e 56.

far assorbire ad una materia il vapore aspirato per un tubo, usando certe cautele e disposizioni d'apparati; e valutare la quantità d'umidità che esisteva in un dato volume di quell'aria ad una temperatura parimenti data. Conoscendo questa temperatura, si potrà trovare la quantità d'acqua di cui lo stesso volume è capace per giungere al massimo di umidità. Siccome queste quantità in peso hanno fra loro l'egual rapporto delle due tensioni alla data temperatura; così si conoscerà l'espressione $\frac{f}{F}$ che dà il valore dell'umidità (§. 624). In tal maniera però non si ha la misura dell'umidità esistente nell'aria ad un momento determinato; ma bensì la misura media dell'umidità contenuta nell'aria durante il tempo dell'esperimento. Questo metodo potrebbe essere posto a profitto per determinare la quantità d'acqua sospesa nelle nebbie o nelle nubi, di cui talvolta si trovano inviluppati i viaggiatori sugli alti monti. Levando dalla quantità d'acqua trovata per un dato spazio quella che potrebbe esistere in quell'aria allo stato di massima umidità per la temperatura osservata, si avrebbe la quantità d'acqua, che si trova sospesa nella nube allo stato globulare o vescicolare.

Il metodo chimico potrebbe più facilmente essere applicato introducendo l'aria da esaminarsi nel manometro, e dopo aver osservata la sua tensione e la sua temperatura, sottoporla all'azione di sostanze disseccative o attraenti l'umidità, come gli alcali e il cloruro di calce. Assorbendo queste materie tutto il vapore contenuto in quel volume; la tensione dell'aria o del gas verrà necessariamente diminuita della quantità f, che eguaglierà la forza elastica attuale del vapore in esso contenuto, e questa forza sarà indicata dall'abbassamento del mercurio nel manometro. Conoscendosi altresì la temperatura, si potrà calcolare la tensione massima F nel modo superiormente insegnato, e si avrà così il rapporto $\frac{f}{F}$ che dà la misura dell'umidità (§. 624).

La grande affinità del acido solforico concentrato per l'umidità, ha suggerito ad alcuni di servirsene come mezzo igrometrico non per la quantità di vapore assorbito, ma pel calorico che si sviluppa in tale assorbimento. Si sa infatti che, estraendo il bulbo d'un termometro dall'acido solforico concentrato, il velo liquido aderente al vetro attrae l'umidità, sviluppa del calorico e fa ascendere il mercurio nel termometro. Questo metodo è stato dapprima proposto

da Van Mons (1) e poscia migliorato da De La Rive (2), il quale ha trovato, secondo le sue sperienze, che il numero dei gradi, di cui aumentava il termometro, era sensibilmente proporzionale alla quantità di vapore contenuto nell'aria. Da questo fatto egli dedusse che un tal procedimento può essere usato come mezzo igrometrico. È difficile però ad avere l'acido normale, pel quale si riscontra la proporzionalità dei gradi di temperatura con quelli d'umidità.

634. Sul secondo principio (§. 627) si ha il solo igrometro che io ho imaginato ed è rappresentato nella *fig.* 218, e che chiamai perciò *igrometro a tensione* (§. 626). Con esso infatti si determina la tensione f' del vapore mancante per diventare massima l'attuale a quella temperatura, cui si trova l'aria, e da una tale cognizione si ricava la tensione f del vapore preesistente nell'aria all'atto dell'osservazione. Imperciocchè si avrà $f'=F-f$, da cui si ottiene $f=F-f'$, e quindi si determina il rapporto $\frac{F}{f}$ che dà il grado di umidità (§. 624). Esso si compone di due tubi di vetro AB,*ab* di diverso diametro, muniti inferiormente di viere e chiavette di ferro, e in comunicazione fra loro mediante il canaletto A*a* dello stesso metallo (3). Il tubo maggiore AB è fornito nella parte superiore d'una viera d'ottone con chiavetta, au cui è applicato il tubo T dello stesso metallo pure con chiave. Un sistema di due anelli d'ottone, che rispettivamente circondano i due tubi di vetro AB, *ab*, è portato dal braccio C attaccato ad un congegno mobile mediante il rocchetto S in una delle colonnette, che sostengono tutto l'apparecchio. Al detto sistema vi è congiunto una laminetta divisa in millimetri ed un nonio N, che si fa scorrere lungo la medesima per mezzo del rocchetto R. Le altre parti dello strumento si scorgono facilmente dall'ispezione della figura.

Volendo esaminare con questo igrometro lo stato d'umidità dell'aria d'un dato luogo, se ne empisce il maggior tubo AB; al qual fine bisogna espellere primieramente quella che naturalmente in esso contiensi. Si leva pertanto il tubo T e si apre la chiavetta F, versando nella capacità AB il mercurio tenuto riposto per l'osservazione nella boccetta V, che ne contiene in tale quantità da empirla interamente

(1) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di Brugnatelli. Pavia 1809, pag. 78.

(2) *Bibliothèque universelle* di Ginevra 1825, tom. XXVIII, pag. 235.

(3) Per questo igrometro si vegga la mia Memoria pubblicata negli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, tom. I, pag. 30.

di quel liquido. Dopo questo si trasporta l'apparecchio nel luogo, di cui si vuole esplorare l'umidità dell'aria e si aprono le chiavette d,D. Il mercurio si mette nei due tubi AB,*ab* allo stesso livello e cade pel suo peso nella boccetta V, che si è posta ancora al disotto della viera del maggior tubo AB. Mentre il mercurio cade nel sottoposto vaso V, l'aria del luogo entra pel foro della chiavetta F. Si chiude la chiavetta D per arrestare ad un certo punto l'uscita del mercurio, cioè quando questo liquido è disceso nei due tubi AB,*ab* ad un livello poco superiore alle viere A,*a*. Fatto ciò si applica di nuovo al suo posto il tubo T e si chiude la chiavetta F; con che l'aria da sottoporsi all'osservazione rimane isolata nella capacità AB. Girando il rocchetto S, si abbassi il sistema dei due anelli in modo che il loro lembo inferiore venga a collimare col livello del mercurio nel tubo rispettivo. Nel tubo d'ottone T si è introdotto dell'acqua, che vi sta rinchiusa per mezzo della chiavetta G. Disposto in tal maniera l'apparecchio, si apre la chiavetta F, ed allora porzione dell'acqua cade pel suo peso nella capacità AB sulla superficie del mercurio, che ne occupa il fondo. Chiusa di nuovo quella chiavetta, l'acqua passa in vapore e satura l'aria contenuta in quella capacità, aumentandone la tensione. Il mercurio, per quest'aumento, viene sospinto nel tubo *ab* e in esso s'innalza sopra il livello di quello contenuto in AB. L'elevazione del mercurio giunge ben presto al suo massimo; il che si riconosce dall'osservare che rimane stazionario, a malgrado che si trovi ancora qualche velo d'acqua nel maggior tubo. Allora si fa scorrere il nonio N mediante il rocchetto R, finchè il suo lembo inferiore collimi colla superficie del mercurio posto nel tubo *ab*. È chiaro che la divisione, indicata dal nonio, misurerà la tensione del vapore, che si è diffuso nello spazio AB per saturarlo, la quale è il complemento di quella del vapore preesistente nell'aria, per giungere al suo massimo.

Sia, p. e., la temperatura dell'aria, di cui si cerca lo stato d'umidità, di 20° centesimali, alla quale la tensione massima risulta $F=17,39^{mm}$, come dalle tavole costrutte colla formola nota, e siasi trovato collo strumento la tensione supplementare $f'=3,40$; si avrà per la tensione del vapore preesistente $f=F-f'=17,39^{mm}-3,40^{mm}=13,99$. Dunque l'umidità sarà espressa dal rapporto $\frac{13,99}{17,39}=0,80$; cioè il grado d'umidità sarà $\frac{4}{5}$ della massima di cui è capace (§. 624).

Nell'uso di questo strumento importa che il mercurio e lo spazio AB siano ben disseccati, onde non comunicare umidità all'aria, che si introduce nello spazio stesso, avanti d'aver chiuso la chiavetta F.

635. Il terzo principio per giudicare dell'umidità dell'aria (§. 627) è stato per la prima volta posto in opera dagli accademici del Cimento sino dal secolo XVII. Formavano un vaso di forma conica rivolto col vertice al basso e riempiuto di ghiaccio tagliuzzato o di neve. I vapori, diffusi nell'aria dell'ambiente, si depositavano pel raffreddamento e si radunavano in liquido sulla parete esterna del vaso. Sgocciolavano poscia così condensati per la punta del vaso conico in un recipiente sottoposto. Dalla frequenza dello sgocciolamento o dalla quantità d'acqua avuta in un dato tempo desumevano lo stato d'umidità dell'aria dell'ambiente, dove istituivano l'osservazione. Essi trovarono che quando *regnavano venti meridionali* la superficie del vaso *sudava dirottissimamente; imperciocchè l'aria è distemperatamente umida, forse per essere la maggior parte del mare a loro meridionale. Per la qual cagione adopera in essi per avventura il sole fortissimamente, e di quei mari trae fuor vapori, i quali si mischiano a venti* (1). Dalle parole testuali di quei fisici italiani, si scorge che essi avevano sino d'allora incominciato ad intravedere che la quantità di vapore nell'aria dipende dalla temperatura. La teorica dell'evaporazione però è conosciuta soltanto dal principio del corrente secolo. L'istrumento degli accademici del Cimento è un semplice igroscopio a condensazione.

636. Il principio degli accademici del Cimento fu impiegato da Le Roy quasi un secolo dopo per giudicare dell'umidità dell'aria dalla temperatura più o meno bassa, alla quale succedeva la deposizione del vapore acqueo sopra le parati esterne d'un bicchiere, dove versava successivamente un liquido sempre più freddo (2). Un tal principio fu soltanto giustamente applicato alla misura dell'umidità da Dalton all'incominciare del corrente secolo; sul quale circa vent'anni più tardi Daniell costrusse il suo *igrometro a condensazione od igrometro ad appannamento* (3).

L'igrometro ad appannamento di Daniell è formato d'un cannello di vetro piegato a squadra in due rami fra loro paralleli e d'ineguale

(1) *Saggi di naturali sperienze fatte nell'accademia del Cimento.* Edizione di Firenze fatta nell'occasione del terzo Congresso scientifico italiano, pag. 18.

(2) *Mémoires de l'Académie des sciences.* Paris 1751.

(3) *Bibliothèque universelle* di Ginevra 1820, tom. XIII, pag. 161.

lunghezza (fig. 219) e terminato in due sfere *a*, *b*: la *b* di vetro annerito e l'altra *a* di vetro comune. La palla nera *b* è piena poco più della metà d'etere, nel quale s'immerge il bulbo *d* d'un piccolo termometro, il cui tubo entra nel cannello sino in *e*. Il cannello e l'altra sfera *a* non contengono che vapor etereo, essendo espulsa l'aria avanti di chiudere colla fusione del vetro la piccola apertura *f*. L'istrumento è portato da una colonnetta *ihkg*, sulla cui faccia anteriore è collocato un termometro *lg*, che misura la temperatura dell'aria esterna. La palla *a* è avvolta in un pannolino o in una mussolina.

Per esplorare lo stato d'umidità dell'aria o d'un ambiente, si versano alcune gocce d'etere sul pannolino della sfera *a*, le quali svaporando assorbono calorico, come vedremo, e raffreddano per tal modo la sfera. I vapori interni d'etere per questo raffreddamento si condensano nella sfera *a* e promuovono l'evaporazione dell'etere contenuto nella *b*, la quale si raffredda alla sua volta. Continuando il condensamento dell'etere nella sfera *a* si promuove maggiormente l'evaporazione dell'etere nella *b*, la quale vieppiù si raffredda e giunge a tal punto, in cui i vapori acquei sparsi nell'ambiente si depositano a guisa di rugiada sulla superficie esterna della stessa sfera *b*. Bisogna cogliere il momento in cui succede una tale deposizione di vapori, e per meglio vederli, si è fatta la sfera *b* di vetro annerito. La temperatura, cui succede la deposizione dei vapori acquei o l'appannamento della sfera *b*, è indicata dal termometro *ed* collocato nell'interno dello strumento, e si chiama il *punto di rugiada*.

Conosciuto il punto di rugiada t' si avrà dalle tavole la tensione massima corrispondente F', e quindi la tensione f alla temperatura t attuale indicato dal termometro esterno *lg*, e il grado d'umidità $u=\frac{F'(1+ct)}{F(1+ct')}$, dove F è la tensione massima alla temperatura t, come si è altrove dimostrato (§. 626 n° V).

Daniell aveva anche fatto la palla *b* di metallo, sulla cui superficie lucida si scorge meglio l'appannamento prodotto dalla deposizione del vapore acqueo, applicando ad essa il termometro *ed* (fig. 220) in modo che col suo bulbo e con porzione del tubo s'internasse nella sfera, e sporgesse esternamente coll'altra porzione di tubo e colla scala. Le congiunzioni però fra metallo e vetro non possono essere così stabili e sicure, per cui è più comune la prima maniera di costruzione.

Quasi contemporaneamente Bellani in Italia, Körner in Germania e Jones in Inghilterra ridussero il termometro comune a far l'ufficio d'igrometro per ottenere il punto di rugiada. Il tubo del termometro è piegato in modo che il bulbo è rivolto all'insù e la parte superiore presenta una piccola concavità *a* (fig. 221), dove si mette un poco di bambagia che si bagna con alcune gocce d'etere. L'evaporazione di questo liquido raffredda il bulbo al punto che i vapori acquei si depositano sulla superficie inferiore del bulbo stesso, e si ha così l'appannamento e il punto di rugiada indicato dal mercurio nel termometro, come nell'apparato di Daniell. Questo semplice strumento detto *igrometro a cassula*, non dà con esattezza il punto di rugiada, come l'igrometro di Daniell. Primieramente perchè i vapori acquei nel loro condensamento provano l'influenza dei vapori eterei, che si formano in vicinanza ad essi; in secondo luogo l'appannamento potrebbe essere prodotto dagli stessi vapori d'etere; tuttavolta per la sua semplicità merita qualche considerazione, tanto più che può condurre a risultati più sicuri di qualunque igrometro ad assorbimento.

637. Un'altra maniera di conoscere l'umidità è quella di determinare l'abbassamento di temperatura prodotto dall'evaporazione dell'acqua nell'ambiente, di cui si cerca il grado d'umidità. Questo metodo fu dapprima posto in pratica da Leslie col suo termometro differenziale a due bulbi, che faremo conoscere nel capitolo del calorico; ma esso non ricevette la sua applicazione come vero igrometro che da August, coll'istrumento detto *psicrometro* (1), ossia misuratore del freddo, dell'evaporazione od umidità. Esso consiste in due termometri A, B molto sensibili ed esattamente comparabili, che possono dare i decimi di grado della scala centesimale (fig. 222). Il bulbo del termometro A è involto in un pannolino tenuto continuamente bagnato dallo sgocciolamento di alcuni stami di cotone *b* immersi nell'acqua contenuta nel vasellino C connesso allo strumento. L'altro termometro B ha il bulbo libero esposto all'aria. Disponendo l'apparato nell'atmosfera o nell'ambiente del luogo, di cui si vuole misurare l'umidità, si osserva nei due termometri una differenza nelle loro indicazioni, se lo spazio non ha l'umidità massima, segnando quello a bulbo inumidito un grado di temperatura minore dell'altro a bulbo libero. La differenza risulta tanto più grande quanto più lo spazio è distante dall'umidità massima. Nel

(1) *Ueber der Anwendung des Psychrometer zur Hygrometrie*. Berlino 1826.

capitolo del calore, vedremo che i liquidi nell'evaporare assorbono calorico; e nel psicrometro l'acqua che sgocciola sul pannolino è divisa e passa in vapore tanto più facilmente quanto più l'aria circostante è asciutta. Per questa continua evaporazione il bulbo del termometro si raffredda e giunge al punto d'avere la temperatura, a cui i vapori sparsi nello spazio posseggono la tensione massima. Giunto a questo punto, la temperatura indicata dal termometro a bulbo inumidito rimane stazionaria. Affinchè lo strato d'aria, che circonda il bulbo, si mantenga alla temperatura costante indicata dal termometro, è mestieri che il calorico, comunicatogli dagli strati atmosferici adjacenti, sia interamente assorbito dai vapori che vanno formandosi sul bulbo inumidito. Sottoposto all'analisi questo equilibrio calorifico, si è determinata la forma dell'equazione, nella quale entra anche l'elasticità del vapore esistente nell'aria alla temperatura attuale, e si sono altresì determinati i coefficienti costanti di tale equazione coll'analisi medesima, rettificati poscia coll'osservazione. In tal modo si trova un'equazione che dà il valore della tensione f del vapore acqueo alla temperatura attuale, la cui massima tensione F si ha dalle tavole nel modo più volte indicato. Conoscendosi quindi quelle due tensioni si ha il grado d'umidità $u=\frac{f}{F}$ (§. 624).

638. Senza diffonderci in calcoli, daremo le formole più raccomandate e le più in uso per servirsi del psicrometro come mezzo igrometrico. La formola adottata posteriormente da August (1) è la seguente (I). $f=f'-\frac{0,568(t-t')}{640-t'}p$, dove f' è la tensione massima espressa in millimetri per la temperatura t' indicata in gradi centesimali dal termometro a bulbo inumidito del psicrometro; f la tensione del vapore esistente nell'aria alla temperatura t indicata dal termometro libero, e p l'altezza del mercurio nel tubo toricelliano o la pressione barometrica al momento dell'osservazione. Regnault ha preso in esame il metodo psicrometrico (2) e dà la formola

$$(\text{II}).\ f=f'-\frac{0,429(t-t')}{610-t'}p.$$

Kaemtz nella sua *Meteorologia* aveva stabilito, relativamente al

(1) Vedi gli *Annali di fisica, chimica ecc.* più volte citati, t. XXIII, p. 275.
(2) Si vegga il suddetto tomo degli *Annali*, pag. 276.

termometro ottagesimale, due formole l'una delle quali pei casi ordinarii e l'altra pel caso che, operandosi ad una bassa temperatura, il termometro bagnato sia rivestito d'uno strato di ghiaccio in ragione del calore latente di liquefazione di questo. Egli ha poi determinato empiricamente il coefficiente della formola per mezzo di osservazioni ripetute e confrontate coll'igrometro di Daniell. I risultati di queste indagini ridotti al termometro centesimale e ritenuto che le tensioni sono espresse a dirittura in millimetri, sono i seguenti:

(III). $f=f'-0,0008464(t-t')p$; (IV). $f=f'-0,0007560(t-t')p$;

valendo la (III) pel caso di $t'>0$ e la (IV) pel caso di $t'<0$. Le quali quando è $p=760$ millimetri diventano:

(V). $f=f'-0,643264(t-t')$; (VI). $f=f'-0,574560(t-t')$.

Sui risultati del psicrometro può avere qualche influenza l'irradiazione calorifica dei corpi circostanti, per cui importa di mantenere una certa agitazione dell'aria. Al conseguimento di questo scopo, il professore Belli ha aggiunto al psicrometro un soffietto, col quale si mantiene in continuo movimento l'aria circostante al bulbo inumidito e si facilita così l'evaporizzazione e quindi il raffreddamento (1).

A schiarimento di quanto si è detto, non ci rimane che di dare qualche esempio d'applicazione delle formole riferite.

Il termometro libero ha dato $t=15°,6$ e quello a bulbo inumidito $t'=8°,1$, essendo la pressione $p=760$ millimetri od a metri 0,76. Dalle tavole delle tensioni (2) si ha $f'=8,291^{mm}$: sostituendo questi valori nella formola (V), risulta $f=3,248^{mm}$, nella (II) $f=4,01^{mm}$ e nella (I) $f=2,95^{mm}$. Le formole di August e di Kaemtz danno risultati fra loro pochissimo differenti, mentre quella di Regnault offre una differenza sensibile. Abbiamo presentato le formole di tutti tre gli autori, perchè con nuove osservazioni, istituite anche in confronto di altri igrometri, si vegga qual'è quella che più si avvicina al vero. L'umidità colla formola (V) sarebbe $u=\frac{3,248}{13,197}$, dove il numero 13,197 è, in millimetri, la tensione massima corrispondente alla temperatura di 15°,6; e quindi $u=0,25$; colla formola (II) $u=0,30$, e

(1) L'autore ha descritto il psicrometro così perfezionato in una Memoria pubblicata negli *Atti* dell'accademia di Padova ed annunziata negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, tom. XVIII, pag. 487.

(2) Si daranno in fine del secondo volume.

colla (I) $u=0,22$; cioè collo formole (V) e (I), l'umidità sarebbe circa la quarta parte di cui lo spazio è capaco a quella temperatura, e coll'altra i tre decimi (§. 624).

Cogli igrometri si possono avere i dati per trovare la quantità in peso di vapore acqueo contenuto in un determinato spazio atmosferico; la quale quantità non bisogna confondere coll'umidità, come altre volte si è notato, giacchè questa dipende dalla temperatura, e colla stessa quantità di vapor acqueo, variando la temperatura, varia del pari l'umidità. Ci occuperemo di questa specie di valutazione, come puro della rapidità dell'evaporazione all'aria libera, nella parte terza parlando dei fenomeni atmosferici; essendo questo un argomento meteorologico che richiede anche alcune cognizioni intorno al calorico.

639. I fluidi aeriformi pel loro peso premono, al pari dei liquidi (§. 548), sui corpi in essi sommersi. Ma avanti di parlare di questa pressione, rammentiamo che il tubo toricelliano misura quella dell'atmosfera, o che esso costituisce, tenuto in continua osservazione, uno strumento particolare detto *barometro*, ossia misuratore del peso. Il barometro più semplice è appunto il tubo toricelliano applicato sopra una tavoletta ed immerso per l'estremità inferiore nel mercurio contenuto in un vasellino chiamato *pozzetto*. A partire dal livello del liquido nel pozzetto, si segna sulla tavoletta una scala in centimetri e millimetri, oppure in pollici e linee, per la quale si conosce l'altezza del mercurio nel barometro ogni volta che si osserva, senza il bisogno di misurarla. Si è variata la costruzione del barometro, per renderlo anche uno strumento facile ad essere trasportato e per ottenere costante il livello del mercurio nel pozzetto, dove ha incominciamento la scala. Faremo conoscere le diverse specie di barometri dopo avere mostrato la legge che seguono le elevazioni nell'atmosfera con le altezze del mercurio nello strumento; giacchè negli strati inferiori, per le colonne d'aria più grandi, vi ha una maggiore pressione che in quelli superiori, e quindi si deve riscontrare eziandio una maggior altezza del mercurio nel barometro (§. 602).

640. Imaginiamo una colonna verticale d'aria, la quale abbia origine al livello del mare o salga sino all'estremo superiore dell'atmosfera. Supponiamo quest'altissima colonna d'aria divisa in un grandissimo numero di strati orizzontali d'eguale altezza x, e così piccola che ciascuno in sè possa appunto per la sua tenuità considerarsi d'uniforme densità in tutta la sua grossezza. Le elevazioni del limite superiore di ciascuno strato sul livello del mare, saranno rispettiva-

mente rappresentate da $x, 2x, 3x, 4x, 5x \ldots\ldots nx = X$. Rappresentiamo altresì con $A', A'', A''', A^{iv}, A_{v} \ldots\ldots \overset{(n)}{A} = a$ le altezze corrispondenti del mercurio nel barometro, che misurano le forze comprimenti rispettive di ciascuno strato, e con $D', D'', D''', D^{iv}, D^{v} \ldots\ldots \overset{(n)}{D} = d$ le densità relative: siccome per le pressioni minori d'un'atmosfera le densità dell'aria si possono ritenere proporzionali alle pressioni medesime; così si avrà,

$$D' : D'' : D''' : D^{iv} : D_{v} \ldots\ldots d :: A' : A'' ; A''' : A^{iv} : A_{v} \ldots\ldots a,$$

da cui si ricava $\frac{D'}{A'} = \frac{D''}{A''} = \frac{D'''}{A'''} = \frac{D^{iv}}{A^{iv}} = \ldots\ldots \frac{d}{a}$. Dunque fra la densità di ciascuno strato d'aria e la corrispondente elevazione del mercurio nel barometro, vi ha un rapporto costante, che chiameremo C; e sarà $\frac{D'}{A'} = C$; $\frac{D''}{A''} = C$; $\frac{D'''}{A'''} = C \ldots\ldots \frac{d}{a} = C$, e quindi $D' = CA'$; $D'' = CA''$; $D''' = CA''' \ldots\ldots d = Ca$.

Ciò posto, chiamando 1 la densità del mercurio in confronto delle densità $D', D'', D''', D^{iv} \ldots\ldots d$ dell'aria alle diverse elevazioni $x, 2x, 3x, 4x, \ldots\ldots X$, è chiaro che, portando il barometro dal primo al secondo strato, il peso della colonna di mercurio che si abbassò nel medesimo deve equivalere al peso del primo strato d'aria lasciato al disotto, ed essere $D'x = A' - A''$. Nell'egual modo si verificano le eguaglianze $D''x = A'' - A'''$; $D'''x = A''' - A^{iv} \ldots\ldots dx = \overset{(n-1)}{A} - a$. Sostituendo ora in queste equazioni i valori di $D', D'', D''', D^{iv} \ldots\ldots d$ superiormente trovati, risulta $CA'x = A' - A''$; $CA''x = A'' - A'''$; $CA'''x = A''' - A^{iv} \ldots \overset{(n-1)}{CA}\, x = \overset{(n-1)}{A} - a$. Dalle quali equazioni, facendo le opportune sostituzioni, si ricava $A'' = A'(1 - Cx)$; $A''' = A(1 - Cx)^2$; $A^{iv} = A'(1 - Cx)^3$; $A_{v} = A'(1 - Cx)^4 \ldots\ldots a = A'(1 - C\overset{(n-1)}{x})$; e quindi la serie di proporzioni

$A' : A'' : A''' : A^{iv} : a :: A' : A'(1 - Cx) : A'(1 - Cx)^2 : A'(1 - Cx)^3 A'(1 - Cx)^{(n-1)}$

ossia $A' : A'' : A''' : A^{iv} \ldots a :: 1 : 1 - Cx : (1 - Cx)^2 : (1 - Cx)^3 \ldots (1 - Cx)^{(n-1)}$

Da ciò si apprende che mentre *le elevazioni* $x, 2x, 3x, 4x \ldots\ldots X$ *sul livello del mare o sopra un punto qualunque crescono in progressione aritmetica, le altezze delle colonne del mercurio nel barometro scemano in progressione geometrica*; giacchè il rapporto $1 - Cx$ è una vera frazione, e quindi le potenze, a misura che ne aumenta l'esponente, decrescono in grandezza.

644. Abbiamo fatto conoscere il *barometro a pozzetto*, ora aggiungiamo che i barometri si distinguono in *stazionari* e in *portatili*. Ai primi, oltre quello a pozzetto, appartiene il *barometro a sifone* che è rappresentato nella *fig.* 223, dove l'estremità del tubo della canna, invece d'essere immersa nel mercurio del pozzetto, si ripiega parallelamente e termina in un recipiente cilindrico di diametro più largo della canna, dove si raduna il mercurio nel caso di abbassamento della colonna. Il recipiente cilindrico ha un coperchio di legno, per preservare la superficie del liquido dalla polvere e da altre sostanze galleggianti nell'atmosfera, che sopra vi si deporrebbero.

Appartiene alla prima classe il *barometro a quadrante*, del quale si può comprendere la costruzione osservando la *fig.* 224. Le variazioni dell'altezza del mercurio nella canna barometrica si manifestano nell'altro braccio ripiegato pure a sifone, e s'innalza per esse o si abbassa un piccolo pesetto galleggiante sulla superficie del mercurio ed attaccato ad un filo, che si avvolge sopra una rotella ed è tirato da un contrappeso. All'asse della rotella è infissa una lancetta, che si muove sopra un cerchio, sulla cui periferia sono segnati degli intervalli corrispondenti ai centimetri e millimetri d'innalzamento o di abbassamento del mercurio nella canna. La rotella, nel girare per le variazioni del livello, fa scorrere la lancetta sul lembo del cerchio ed indica la variazione dell'altezze del mercurio nel barometro.

Il barometro a quadrante si trova spesso costrutto in lusso piuttosto come ornamento che come apparato della scienza; le sue indicazioni sono molto ingrandite sulla periferia del cerchio. Per ottenere in altra maniera un ingrandimento, a scapito però dell'esattezza, alcuni hanno consigliato di piegare il tubo sotto un dato angolo, dove per la legge dell'idrostatica (§. 511) il mercurio si mette allo stesso livello come nel tubo verticale. Una tale disposizione è conosciuta sotto il nome di *barometro a squadra*, e le indicazioni, in centimetri e millimetri o in frazioni di altra unità di misura, sono ingrandite in ragione del cateto all'ipotenusa del triangolo rettangolo, che si forma colla linea orizzontale condotta dall'estremità della canna inclinata sul prolungamento della parte verticale della medesima. Alcuni altri barometri sono stati imaginati, e noi ci siamo limitati, per riguardo agli stazionari, a far conoscere quelli più in uso e che si trovano come monumenti storici in qualche gabinetto di fisica (1).

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc. su citati, tom. XXIX, pag. 38 e 45.

642. Avanti di far conoscere i barometri portatili, importa di mostrare quali siano i requisiti per avere un esatto barometro. Essi sono i seguenti: 1° che il mercurio sia puro, ed abbia quindi l'eguale densità in ogni barometro, onde nelle osservazioni riesca comparabile agli altri; 2° che lo spazio superiore sia esattamente privo d'aria o d'altro fluido elastico, e il mercurio ben purgato dell'aria, che può essere annidata nei suoi pori; 3° la parte superiore del tubo è mestieri che abbia un diametro tale da ovviare gli effetti della capillarità; 4° la scala deve essere segnata con tutta l'esattezza possibile, ed aver sempre incominciamento dal livello del mercurio nel pozzetto.

Questi quattro requisiti sono generali per tutti i barometri: ma, dovendosi mettere a confronto le osservazioni fatte a differenti temperature, è necessario fare le correzioni per la dilatazione del mercurio e del metallo della scala, sapendo che, per ogni grado del termometro centesimale, il mercurio si dilata di 0,0001802 e l'ottone di 0,0000172; e se in luoghi molto differenti in altezza e in latitudine bisogna per un'esattezza maggiore fare la correzione della gravità, la quale si può determinare col pendolo (§. 399). Pei barometri portatili è necessario che la loro costruzione sia tale da impedire lo spargimento del mercurio o la rottura dello strumento nel trasportarlo.

Il mercurio, che si trova in commercio, è sempre impuro e conviene distillarlo, o lavarlo replicatamente nell'acido solforico come è consigliato da Prandi. Il migliore però è quello estratto dal deutossido di mercurio. Il mercurio si purga dall'aria e dall'umidità riscaldandolo al fuoco. S'introduce poscia nel tubo a piccole colonne che si fanno bollire sotto l'azione del calore; ma quando il tubo è interamente pieno, bisogna levare lo strato superiore, che contiene sempre un poco d'ossido formatosi al calore dell'ebollizione. Si riconosce se la parte superiore è priva d'aria, dall'urto della colonna liquida contro la sommità del tubo inclinato sotto un certo angolo. Se il tubo non ha un diametro abbastanza grande, bisogna correggere gli effetti della capillarità secondo le leggi spiegate; ritenendo che pel diametro di 20 millimetri si ha una depressione di millim. 0,036. La scala si segna con tutte le regole che l'arte insegna.

643. Dai requisiti necessarii per un buon barometro si riconoscerà tosto che quelli stazionari descritti possono essere soltanto strumenti di società e non apparati per la scienza. Per avere delle indica-

zioni, almeno approssimate, bisogna assicurarsi se la scala sia stata applicata a dovere da un dato punto di livello del mercurio nel pozzetto, dovendosi fare le correzioni in più o in meno secondo che il livello è meno o più elevato su quel punto, aggiungendo o levando tanti millimetri di mercurio secondo il rapporto del diametro della canna a quello del pozzetto. Queste correzioni non sono necessarie nel *barometro a galleggiante*. Il pozzetto BG è di bosso ed il fondo mobile formato di un piccolo sacchettino *a* di pelle d bufalo (*fig.* 225), che si può innalzare od abbassare colla vite V, la quale sostiene il fondo sopra un dischetto d'ottone. Nel coperchio vi ha un foro, per dove passa un cilindretto d'avorio, che galleggia sul mercurio colla sua base a tronco di cono, con cui si può chiudere al bisogno il detto foro pure conico, assicurandolo col galletto che va a vite sullo stesso cilindretto. Al coperchio è fissa una piccola custodia, su cui è tracciata la lineetta *x*, che corrisponde con l'altra segnata sul galleggiante, quando il mercurio nel pozzetto ha il giusto livello, dove ha incominciamento la scala. Se le due lineette non corrispondono alla stessa altezza si rallenta o si sospinge la vite V, con che si abbassa o s'innalza il livello del mercurio, finchè collimino le due lineette *x*. Volendo trasportare l'istrumento, si chiude il foro del coperchio colla valvola d'avorio *c*, si sospinge la vite V sin quasi contro l'apertura della canna AB che pesca nel mercurio, e si capovolge lo strumento. In tale posizione la canna resta ancora sommersa nel mercurio, per cui non vi può entrare aria. Affinchè il liquido non sia agitato nella canna, si sospinge la vite V sino a mettere ad esatto combaciamento la pelle del sacchettino coll'orifizio ed a chiuderla esattamente. La scala è in lamina d'ottone e munita d'un nonio, che dà le frazioni di millimetro.

Il *barometro d'Origo*, detto dai francesi di Fortin (1), ha il pozzetto a fondo mobile come quello a galleggiante, e il punto costante del livello del mercurio è indicato da una punta d'avorio attaccata al coperchio nell'interno del pozzetto, come mostra la *fig.* 226.

644. Il *barometro di Pino*, usato da questo dotto naturalista nelle

(1) Esso è descritto nel *Giornale arcadico* di Roma e nell'opuscolo con tavola—*Descrizione d'un nuovo barometro portatile*—, prima che l'artefice francese facesse conoscere il barometro da lui costrutto somigliante a quello d'Origo. Baroni, nelle annotazioni alla *Fisica* di Libes della traduzione italiana stampata a Firenze nel 1845, parla del barometro imaginato da Origo.

sue escursioni geologiche sugli alti monti, è a sifone, il cui ramo più corto termina in forma di una boccetta *b* (*fig.* 227). Un imbuto di ferro *acd* ha il cannello che s'innalza ad una certa altezza *e* ed è esteriormente fatto a cono, che si adatta esattamente all'apertura della boccetta *b*. Volendo fare delle osservazioni si colloca l'imbuto sulla boccetta, e si versa del mercurio pel cannello *ec*, sinchè venga a riempierlo ed a debordare nell'imbuto. Il livello *e* è quello costante, da dove incomincia la scala ed a cui bisogna ridurlo avanti di far l'osservazione. Per trasportarlo si assorbe con un fiaschettino di gomma elastica un poco di mercurio dal cannello, che poscia leva e si tura la boccetta *b* con un tappo.

Lo strumento di Pino potrebbe essere munito d'una chiavetta (*fig.* 228), la quale servirebbe a chiudere il mercurio nella canna dopo averla un poco inclinata e riempiuta interamente di liquido.

Nel trasporto riesce molto comodo il *barometro d'Englefield*, il quale ha il pozzetto fatto di bosso e chiuso d'ogni parte. La forma interna di questo pozzetto è tale che, in qualunque posizione si disponga il barometro, la canna rimane sempre immersa nel mercurio. Questo barometro riesce di facile trasporto, ed a malgrado abbia il pozzetto interamente chiuso, io l'ho più volte posto alla prova e trovato sensibile ad ogni cambiamento di pressione atmosferica, al pari d'ogni altro. I pori del legno, mentre sotto il peso ordinario non lasciano trapelare il mercurio, sono accessibili all'aria, come d'altronde mostra l'esperienza (§. 61). L'unico difetto si è che ad ogni osservazione bisogna fare una correzione per la variazione del livello nel pozzetto, non avendo, come il barometro a galleggiante, un ordigno per condurre il livello stesso al punto, da dove ha incominciamento la scala.

643. Il *barometro di Gay-Lussac* è a sifone e di facile trasporto, riunendo d'altronde tutti i requisiti dell'esattezza quando sia ben costrutto. La *fig.* 229 rappresenta lo strumento in situazione propria per le osservazioni e colla sua assettatura. Il ramo più corto della canna ha l'egual diametro della parte superiore del ramo più lungo, il quale inferiormente si ristringe in 1 a 2 millimetri ed è saldato al ramo più corto. Questo ramo è chiuso alla sommità come quello più lungo, ma alla distanza di 2 in 3 centimetri vi ha un piccolo foro capillare *f*, pel quale non passa il mercurio sotto la pressione ordinaria, e d'altronde esso dà adito all'aria per tenere elevato il mercurio, come nel tubo toricelliano. Per trasportare questo barometro si capovolge come mostra la *fig.* 230. Bunten ha fatto al barome-

tro di Gay-Lussac una modificazione, che impedisce meglio all'aria d'entrare superiormente al mercurio nel ramo più lungo, e che è rappresentata in *a*.

La scala è mobile e formata d'una lunga laminetta d'ottone, che s'innalza e s'abbassa mediante una vite. All'estremità della scala vi sono due anelli dello stesso metallo, l'uno dei quali abbraccia ed è scorrevole sul ramo più lungo e l'altro sul più corto. Si dispone la lamina in modo che l'anello inferiore collimi col livello nel ramo più corto, e poscia s'innalza o si abbassa la laminetta d'un nonio, connesso colla scala ed a cui è attaccato l'anello superiore, sinchè questo collimi col livello del mercurio nel ramo più lungo. Si ha con ciò l'altezza del mercurio sul livello inferiore, ossia l'altezza barometrica.

Bellani ha dato tali disposizioni a questo barometro da farlo servire contemporaneamente di termometro, e così avere a dirittura i gradi di calore per correggere le altezze osservate e ridurle alla temperatura zero o ad altra stabilita. Con tale modificazione egli lo chiama *termobarometro*. Osserveremo infine, intorno allo strumento di Gay-Lussac, che i due rami della canna barometrica essendo capillari, importa che siano esattamente d'egual diametro; non solo per evitare gli effetti ordinarii della capillarità, ma un altro di maggior conseguenza notato da due abili osservatori in un barometro di questa specie dei meglio costrutti (1).

646. Importa nelle osservazioni che la canna del barometro abbia la posizione verticale. Nelle specole e nei gabinetti di fisica è sospeso per un asse su cui può oscillare come un pendolo, e mettersi nella direzione verticale per la gravità. Nei viaggi per le osservazioni sui monti e in aperta campagna, l'astuccio del barometro portatile è fatto in modo che si dispone in trepiede, su cui si equilibra verticalmente lo strumento intorno al suo asse (*fig.* 231).

Per le osservazioni da farsi sui vascelli della marina, il barometro è sospeso per mezzo del sistema di Cardano alla parete del camerino del capitano; (*fig.* 232), potendo prendere così sempre la posizione verticale qualunque siano le inclinazioni del bastimento (§. 304).

647. Sono stati imaginati da parecchi fisici molti congegni da applicarsi al barometro per avere, in assenza dell'osservatore, la mas-

(1) Vedi *Bibliothèque Universelle* di Ginevra 1818, t. VIII, pag. 8.

sima e minima altezza del mercurio nella canna dello strumento, ed anche dei barometri orari (1).

Tutti i barometrografi, che danno cioè la massima e la minima altezza del mercurio in assenza dell'osservatore, sono stati abbandonati, perchè soggetti a parecchi inconvenienti nell' atto pratico. Ci sembra che quello rappresentato nella *fig.* 233 sia il più proprio per tale scopo. Esso è simile ad un barometro a quadrante, ed unitamente alla lancetta gira una sottile ruota dentata mobilissima, la quale, nella posizione estrema, è ritenuta da un notolino. Sono necessari due di questi strumenti: l'uno per avere la massima e l' altro la minima altezza del mercurio nella canna.

Per conoscere la pressione che esercita l'atmosfera in profondità inaccessibili, Vassalli ha imaginato un barometro a versamento, nel quale il mercurio, a misura che s' innalza nella canna, cade in un tubo connesso alla sommità della medesima, e dalla quantità di mercurio versato si desume l'aumento di pressione provato dallo strumento nella profondità.

648. È stato anche imaginato da Vidy uno strumento per misurare la pressione dell'atmosfera senza servirsi di colonne di mercurio o di altro liquido, e che venne perciò chiamato *barometro aneroido* cioè senza liquido. Esso è formato d'una specie di scatola metallica, nella quale si è fatto il vuoto. Una delle superficie è fatta in maniera che prova le variazioni della pressione atmosferica, colla quale fa equilibrio mediante la sua elasticità. Aumentando o diminuendo la pressione, la superficie metallica concepisce dei piccoli movimenti in un verso o nell'opposto, i quali sono comunicati ad un congegno e da questo ad una lancetta, per cui sono indicati sopra un cerchio come nel barometro a quadrante.

Sul cerchio si segna la scala con un barometro campione. Questo barometro però nelle sue indicazioni non potrà mai essere sicuro come quello a colonne di mercurio, principalmente se si estendono oltre i limiti, in cui è stato sperimentato per segnare la scala. D' altronde i corpi solidi, tenuti costantemente tesi o compressi, variano nella loro elasticità.

Si sono fatti dei barometri anche ad acqua e ad olio: se ne vedeva uno costrutto col primo liquido in una torre contigua al gabinetto di fisica di Modena, ed uno ad olio, o almeno parte ad acqua e parte

(1) Un barometro orario è stato imaginato da Vassalli-Eandi, e può vedersi descritto nelle *Memorie della Società Italiana delle scienze* t. VI.

ad olio, si doveva costruire nella torre meteorologica addetta al gabinetto di fisica del R. Liceo a S. Alessandro di Milano.

Se il liquido barometrico è la sola acqua, bisogna fare ad ogni osservazione la correzione dell'elasticità del vapore acqueo che si forma superiormente nella canna barometrica, la quale, pel barometro ad acqua, deve avere l'altezza di più di 10 metri. Se per es. la temperatura è di gradi 10,3 centesimali, nell'interno del tubo si troverà vapor acqueo dell'elasticità di millim. 9,35; talchè se il barometro ad acqua indica metri 9,148 la pressione atmosferica sarà di metri 9,148+0,00935, ossia di metri 9,15735.

649. L'altezza del mercurio nel barometro è soggetta a variazioni orarie ed accidentali, le quali hanno qualche relazione coi fenomeni, che succedono nell'atmosfera. Il barometro diventa per tal modo uno strumento meteorologico. Sotto questo punto di vista ne parleremo nella parte terza, dove si tratta appunto della meteorologia. Qui dobbiamo mostrare come esso si presti alla misura delle elevazioni sulla terra, colle quali ha pure relazione (§. 594 e 640).

Quando il barometro segna millimetri 760, fa d'uopo elevarsi di $10^{m},5$ per ottenere l'abbassamento d'un millimetro, ossia perchè il mercurio si metta nel tubo a millim. 759. Avendo l'atmosfera minor densità negli strati superiori (§. 602), bisogna elevarsi di più di $10^{m},5$ per ottenere l'abbassamento d'un altro millimetro nel mercurio. Per compensare la densità, Maraldi e Cassini consigliano d'aggiungere, all'altezza fondamentale per ogni millimetro d'abbassamento, $0^{m},15$ pel primo millimetro, $0^{m},30$ pel secondo, e così sempre progredendo pei successivi. Si voglia, per es., sapere quanto sia alto un colle al cui piede il barometro segna millim. 760 ed alla cima 750: in tal caso si avrebbe $10^{m},5 \times 10$, più la somma della progressione aritmetica che ha per primo termine $0^{m},15$, è composta di dieci termini ed ha per rapporto 0,15. Si avrebbe quindi $105^{m}+8^{m},25=113^{m},25$. Se poi alla stazione inferiore non si abbia l'altezza barometrica normale di 760 millimetri, allora si calcoleranno ancora $10^{m},5$ per ogni millimetro di abbassamento, e per l'aggiunta da farsi si diffalcheranno dalla serie tanti termini, incominciando dal primo $0^{m},15$, quanti sono i millimetri di cui la colonna barometrica al piede del colle differisce da 760.

Talchè se il barometro alla base del medesimo segnasse millim. 755 ed alla sommità si avesse 745, il primo termine della serie, da aggiungersi al prodotto di $10,5 \times 8 = 84^m$, sarebbe 1,20, il secondo 1,35 ecc., e con questa aggiunta sarebbe l'altezza eguale ad $84^m + 13,80 = 97^m,80$.

Questo metodo può condurre a risultamenti molto diversi dal vero in causa della temperatura, dell'umidità dell'aria ecc.; per cui si sono inchiuse queste circostanze in una formola, correggendo il coefficiente costante con misure determinate trigonometricamente. Quella, che serve pei luoghi situati a latitudini non molto discoste dalla media di 45°, è la seguente:

$$x = 18393^m \left(1 + 2\frac{T+T'}{1000}\right) \log. \frac{A}{a\left(1 + \frac{t+t'}{5550}\right)}.$$

dove A,a sono le altezze del mercurio nel barometro alle due stazioni inferiore e superiore; T,T' le temperature dell'aria libera alle stazioni medesime, e t,t' le temperature del mercurio nel barometro desunte dal termometro incassato nello strumento.

Con osservazioni fatte al piede ed alla sommità della così detta *Torre della Gabbia* di Mantova, si è trovato nel mattino d'un giorno di luglio,

$A = 766,98^{mm}$	$a = 763,19^{mm}$
$T = 23°,7$	$T' = 22°,5$
$t = 24,2$	$t' = 24,0$

sostituendo questi valori nella formola si ha:

$$x = 18393^m \left(1 + 2.\frac{23,7 + 22,5}{1000}\right) \log. \frac{766,98}{763,19\left(1 + \frac{24,2 - 24,0}{5550}\right)} \text{ ossia}$$

$$x = 20092,51^m \text{ (log. 766,98—log. 763,22), ossia}$$

$x = 20092,51 \times 0,00216 = 43^m,40$. Ora il barometro alla stazione inferiore era elevato di due metri sul pavimento, mentre a quella superiore si trovava metri 4,5 al disotto del comignolo del tetto della torre. L'altezza totale quindi della torre sul suolo risulta, secondo quelle osservazioni barometriche, di metri 49,90 (1).

(1) Per facilitare questi calcoli si sono costruite delle tavole, dalle quali colle

650. I fluidi aeriformi hanno poco peso specifico, e quindi posti in vasi si trovano in masse troppo piccole per manifestare, come i liquidi, delle pressioni sensibili per la loro gravità, facendo uno sforzo più o meno grande sulle pareti dei vasi medesimi soltanto per la loro tensione (§. 599). Lo stesso non è del grande ammasso dell'atmosfera, ed i corpi in essa sommersi sopportano una pressione, che al livello del mare si è veduto essere maggiore d'un chilogrammo per ogni centimetro quadrato di superficie premuta (§. 595). Abbiamo mostrato quale sia la condizione d'equilibrio per una massa aeriforme in quiete e come l'atmosfera pel peso degli strati superiori sia più densa nei luoghi bassi che in quelli elevati (§. 602), e qual relazione hanno le elevazioni dell'atmosfera d'un dato luogo colle altezze corrispondenti del mercurio nel barometro (§. 640). Ora dobbiamo occuparci della pressione sui corpi nell'atmosfera sommersi.

La pressione dal basso all'alto, esercitata dall'aria atmosferica sui corpi, si chiama al pari dei liquidi (§. 519) *spinta verticale*, verificandosi eziandio in questo caso il *principio d'Archimede*, che è generale per tutte le masse fluide (§. 518). Vi ha però un apparato apposito detto *manometro a bilancia*, col quale si dimostra che i corpi perdono di peso nell'aria secondo la grandezza del loro volume. Esso consiste in un fusto di bilancia a cui sono appesi in bilico due corpi di volumi molto differenti: l'uno consiste in una sfera cava d'ottone di quasi un decimetro di diametro; l'altro in una sfera massiccia di piombo capace ad equilibrare nell'aria la sfera cava. Ponendo l'apparato sotto il recipiente pneumatico ed estraendone l'aria, l'equilibrio si rompe, e il fusto piega dalla parte del corpo, che perdeva maggior peso nell'aria, cioè dal più voluminoso. Lasciando rientrare l'aria e riacquistando essa la primitiva densità, l'equilibrio è restituito ai due corpi.

Succede qui al contrario di quanto si è riscontrato di due corpi che, in equilibrio nell'aria, venivano immersi in fluido più denso, nell'acqua (§. 522): mentre nell'esperienza precedente i due corpi vengono a trovarsi in fluido meno denso, nell'aria rarefatta.

È appunto per la spinta verticale dell'aria che il fumo s'innalza nell'atmosfera, che le nubi stanno sospese nell'alto di essa, e che diversi altri corpi, specificamente meno pesanti dell'aria, si dirigono

prime operazioni d'aritmetica si ha l'altezza richiesta del luogo; le migliori pubblicate in Italia sono le *Nuove tavole barometriche e logaritmiche* ecc., Genova 1848.

verso le regioni superiori del cielo. Questa direzione, contraria alla gravità, aveva fatto credere ai filosofi dell'antichità che vi fossero in natura dei corpi dotati di leggerezza assoluta; ma l'invenzione della macchina pneumatica ha mostrato che nel vuoto essi cadono verso il centro della terra come gli altri, ed ha fatto scomparire quei loro vaneggiamenti.

651. L'aria, che inviluppa la nostra terra, preme pel suo peso su tutti i corpi e li solleva nell'alto dell'atmosfera se sono meno pesanti di essa; entra in tutti i luoghi e nei più piccoli interstizii, ed ovunque si spande pel suo peso e per la sua espansibilità; riempie i vacui, dove non sianvi materie solide ne'liquide e si pone dappertutto in equilibrio. I sotterranei, le caverne, i luoghi più reconditi posti in qualsiasi modo in comunicazione coll'atmosfera sono riempiuti d'aria e provano le variazioni della pressione dell'atmosfera medesima. La pressione si esercita su tutti i corpi per ogni verso (§. 600) sulle loro parti esterne e su quelle interne dove l'aria penetra per gli interstizi e vi sta annidata (§. 63).

È appunto per questa pressione esercitata per ogni verso, sulla superficie esterna e nell'interno dei corpi, che quelli che sono molli non cambiano le loro forme nè sono schiacciati, e quelli fragili non si spezzano. Le pressioni eguali ed opposte si elidono da sè, e non producono su quei corpi alcun cambiamento. Ma si è veduto che, quando si levi da un lato una di queste pressioni, quella opposta dà prova del suo potere, e il corpo ne risente gli effetti (§. 596). Lo stesso succede dell'uomo, il quale sopporta esternamente la pressione di ben 15000 chilogrammi (1), che vien elisa da altrettante pressioni interne dirette in opposto verso.

L'aria pel suo peso e pel suo elaterio diventa nella gran vastità della terra una potenza attiva, che ha un'influenza più o meno grande sui fenomeni della natura e sulle operazioni delle arti. Non solo pone in movimento, sulle strade ferrate e sulle acque, pesanti convogli e grandiosi bastimenti; non solo presta un appoggio colla sua inerzia agli uccelli per innalzarsi nelle regioni superiori, ma colla sua spinta verticale serve anche all'uomo per elevarsi in quelle altissime regioni, che la natura sembrava aver riservato ai soli volatili.

(1) La superficie d'un uomo di ordinaria statura si calcola di circa metri quadrati 1,5 o di centimetri quadrati 15000, su ciascuno dei quali la pressione atmosferica esercita la pressione di circa 1 chilogrammo, per cui la pressione totale esterna risulta di chilogrammi 15000.

652. Le condizioni d'equilibrio dei corpi sommersi nell'aria sono le medesime di quelle dei corpi sommersi nei liquidi, ed hanno luogo le stesse conclusioni (§. 520); giacchè esse scaturiscono dal principio d'Archimede comune ad ambedue le specie di fluidi e dalle dottrine del centro di gravità applicabili a tutti i corpi pesanti.

I liquidi hanno però una superficie di livello, a differenza dei fluidi aeriformi (§. 602); talchè nei primi, quando il corpo sommerso è di minor gravità specifica, è innalzato dalla spinta verticale e viene a galla, demergendo per parte del suo volume dal liquido medesimo (§. 521). Nell'atmosfera il corpo sommerso s'innalza nello stesso modo in direzione contraria alla gravità, entra in istrati che vanno sempre più decrescendo in densità (§. 640), e si arresta in quello dove la massa fluida rimossa eguaglia in peso il corpo sommerso, o in altri termini nel luogo dove la spinta verticale eguaglia la gravità (§. 521).

653. Da questi principii dipende la costruzione degli *aerostati*, o di quei globi formati di carta, di tela o di taffetà, riempiuti d'un fluido meno pesante dell'aria. In tal modo essi acquistano per la prevalenza della spinta verticale sulla gravità un forza ascensiva e si elevano nell'atmosfera portando con sè uomini e cose.

I globi aerostatici detti anche palloni volanti furono inventati nell'anno 1783 da Montgolfier. Le prime macchine di questa specie erano ad aria rarefatta col calorico e fatte con carta; in seguito si formarono di tela per elevare degli uomini. Si costrussero infine di taffetà gommato per riempierli di gas idrogeno il quale, quando è puro, ha un peso specifico di 13 in 14 volte minore di quello dell'aria (§. 617). Gli aerostati sono dunque di due specie: *ad aria rarefatta* ed *a gas idrogeno*.

Agli aerostati si dà comunemente la forma di sferoide (1), e quelli *ad aria rarefatta* hanno inferiormente un'apertura, il cui orlo è un cerchio di ferro o di legno (*fig.* 234). Corrispondente a questa apertura sta appesa al pallone una specie di grata di ferro, che serve di focolare alle materie che si abbruciano per rarefare l'aria interna. L'aria, dilatata dal calore, gonfia il pallone e gli fa acquistare un volume, pel quale rimuove tant'aria da produrre una forza verticale,

(1) Per tagliare le fettuccie del pallone si può far uso del metodo delle zone o di quello dei fusi sferici, che trovansi descritti nel mio *Manuale di geometria per le arti e pei mestieri*. Milano 1832, pag. 352.

da cui è spinto nell'alto dell'atmosfera. Quando s'innalzano uomini, essi siedono in una galleria sospesa a cordoncini di seta, che partono da una rete che si appoggia e copre la metà superiore del globo, e disposta parallelamente e quasi allo stesso livello del focolare. Per gonfiare il pallone si appende dapprima ad un'impalcatura appositamente eretta, indi si riscalda l'aria per l'apertura inferiore. Una volta che incomincia a stare sospeso nell'aria da sè, si scioglie dall'impalcatura e si attacca la galleria disposta pel volo aereo.

654. Gli *aerostati a gas* sono costrutti d'una stoffa leggerissima coperta d'una vernice composta di gomma elastica sciolta nella trementina ed hanno pure la figura di sferoide. A gonfiare un grande aerostato a gas si richiede un apparecchio apposito per l'estrazione dell'idrogeno ed introdurlo nel globo (fig. 235). Due tini A, A del diametro di circa $1^m,5$ e dell'altezza di 2 metri, si empiscono per circa $\frac{2}{3}$ della loro capacità d'acqua, dove sta sciolta della calce. Nel centro del coperchio di ciascun tino è praticato un foro, nel quale si adatta esattamente un tubo *ab* di latta del diametro di circa 18 centimetri e della lunghezza di alcuni metri. Questi tubi si congiungono in un solo *bc*, al quale si attacca un condotto di stoffa gommata che comunica colla capacità interna del pallone CD. Intorno a ciascun tino si collocano cinque o sei oppure un maggior numero di botti B, B, B ecc. secondo l'ampiezza del pallone, nel fondo superiore delle quali vi sono praticati due fori. Ad uno di questi fori è adattato un tubo di latta *ef* del diametro di circa 6 centimetri e piegato a doppia squadra in modo che, passando pel coperchio del tino A, s'immerge nell'acqua che dentro vi si trova; l'altro foro serve ad introdurre le materie per la generazione del gas e si tiene chiuso con un tappo di legno per aprirlo al bisogno.

Ciò fatto si apre il foro *n* e si mettono nelle botti B le materie per somministrare il gas, ponendo dapprima l'acqua e poscia la raschiatura o i pezzi di ferro o di zinco, ed all'atto che si vuole operare l'estrazione del gas si versa l'acido solforico. L'idrogeno che si sviluppa nelle botti B entra nei tini A e, attraversando l'acqua di calce che serve a raffreddarlo ed a purgarlo, si porta nella capacità superiore espellendone l'aria. Poco dopo che si è versato nelle botti B l'acido solforico, si lega il tubo gommato a quello di latta *bc*, avvertendosi di lasciarne prima uscire l'aria. Il gas idrogeno dalle botti B. entra nei tini A, passa pei tubi *ab*, entra nel globo e lo gonfia in modo d'essere capace in poco tempo di star sospeso in aria da

Digitized by Google

sè. Allora si leva la fune, lasciandola scorrere sulle carrocole attaccate all'impalcatura. Si dispongono altresì le funicelle congiunte ad una specie di rete che inviluppa l'emisfero superiore del pallone. Mentre progredisce e si conduce a termine il gonfiamento, si attacca alle funicelle una specie di cesta o navicella fatta di robusti vimini, dove si deve collocare l'aeronauta, e si mettono in essa i sacchetti di arena disposti a servire di zavorra, gl'istrumenti e tutti gli oggetti di cui il medesimo ha bisogno pel viaggio aereo. Finalmente, quando il globo è pieno per circa $\frac{3}{4}$ della sua capacità, si scioglie il tubo di stoffa gommata dal pallone, dopo di che l'aeronauta, entrando nella navicella, si abbandona all'atmosfera e sale come vedesi nella fig. 236.

655. Nei palloni ad aria rarefatta, l'aeronauta ne modera a suo piacere la forza ascensiva avvivando od ammorzando il fuoco nel focolare, secondo che voglia aumentarla o diminuirla. Al medesimo scopo, il globo a gas e fornito alla sua sommità S (fig. 236) di una valvola, che l'aeronauta può aprire per mezzo d'un cordoncino, e di alcuni sacchetti d'arena, come si disse. Quando egli vuole discendere, apre la valvola, lascia uscire un poco di gas, e diminuisce così di volume il globo e quindi anche la spinta verticale; quando invece vuole accrescere questa forza, getta porzione della zavorra, con che si aumenta la forza stessa per cui tende a salire nell'atmosfera. L'aeronauta deve avere l'avvedutezza di non privarsi interamente di zavorra, per possederne una certa quantità poco prima di discendere a terra, affine di riparare la caduta, che sino ad un certo punto succede con moto accelerato, come avviene di qualunque grave (§. 246). Il moto accelerato della caduta è diminuito bensì dall'urto dell'aria contro la superficie del pallone; nulla di meno esso può divenire tale da riuscire pericoloso al momento che urta il suolo. È appunto quest'urto che bisogna saper evitare, gettando la zavorra conservata per tale scopo, e sostenendosi colle braccia sulla cesta di vimini che colla sua elasticità ripara la percossa.

Si è detto che l'aerostato sia al più ripieno di $\frac{3}{4}$ della sua capacità di gas; e ciò per evitare il pericolo dello scoppio del medesimo. Imperciocchè, a misura che s'innalza nell'atmosfera, diminuisce la densità o quindi la pressione dell'aria, e rimane libera

porzione della tensione del gas, il quale dilatandosi gonfia maggiormente il pallone e lo farebbe scoppiare se fosse troppo pieno. D'altronde il pallone, aumentando di volume, rimuove una maggior quantità d'aria atmosferica, acquista per questa parte una maggior forza ascensiva, che compensa la perdita avvenuta per la diminuzione della densità dell'aria atmosferica negli strati superiori (1).

656. Per riparare a qualche sinistro accidente si è aggiunto ai globi aerostatici il *paracadute*, mediante il quale l'aeronauta può discendere verso terra senza il sussidio del pallone. Il paracadute consiste (fig. 237) in una specie d'ombrello AB, le cui dimensioni sono determinate dal peso, del quale deve rallentare la caduta. Quello, di cui si è servita la Garnerin nei tre voli eseguiti nell'anfiteatro di Milano gli anni 1824 e 1825, aveva il diametro di $8^{m},50$, ed era formato di 48 pezzi *abc*, *cbd* di leggier stoffa di seta cuciti assieme e sostenuti nelle loro cuciture da altrettanti cordoncini pure di seta; i quali partendo da un anello posto nel centro, si estendono sino alla circonferenza contornata da un cordoncino simile, ed ivi riunendosi a tre a tre vengono a formare 16 cordoni, che si prolungano a sostenere la navicella o per dir meglio la cesta D intessuta solidamente di vimini a spazi abbastanza larghi, per dove l'aeronauta possa vedere al disotto ed all'intorno di sè. Ciascuno di questi cordoni, misurato dal lembo del paracadute, ha una lunghezza di 9,75; talchè, quando il medesimo è chiuso, la detta lunghezza aumenta il raggio dell'ombrello e l'aeronauta trovasi distante metri 14 dal punto inferiore G del pallone (fig. 236). La cesta è appesa al pallone mediante una fune, che si accavalla ad una carrucola raccomandata in C, punto di concorso delle funicelle prolungantisi dalla rete del pallone, passa per l'anello circolare del centro del paracadute, e discende coi suoi due capi a sostenere la cesta. Allorquando l'aeronauta si trovasse in pericolo o in causa della rottura del pallone o di altro sinistro accidente, egli taglia un tratto della fune sunominata, per cui

(1) Si vegga negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, tom. XXVIII, pag. 198 la memorabile ascensione aerostatica di Rossi, nella quale, non avendo egli aperta a tempo la valvola per impedire il soverchio gonfiamento, si è squarciato in due parti l'involucro del globo, e per un'avventurosa combinazione di circostanze metà di esso gli servì di paracadute e lo portò a salvamento.

questa scorrendo sulla carrucola si separa dal globo unitamente al paracadute; a cui sta appesa la cesta. Intanto che succede questa separazione, l'aria, urtando la superficie del paracadute, lo spiega e, prima d'aver terminato la fune di scorrere sulla carrucola, l'ombrello AB è interamente aperto (fig. 237). L'aeronauta allora non ha più a temere il pericolo, essendo la caduta ralleutata dall'urto continuato dell'aria contro la superficie circolare AB. La Garnerin, nel primo dei voli su citati, si è sciolta dall'aerostato all'altezza sul suolo di 1648 metri, affidandosi al solo paracadute.

Per ricuperare il pallone in questa specie di sperimenti ed obbligarlo a cadere nel luogo, dove discende l'aeronauta col solo paracadute, si è attaccato un peso P (fig. 236) di alcuni chilogrammi al capo d'una funicella congiunta per l'altro capo alla sommità del globo. Questo peso, tosto che l'aeronauta si è distaccato, rovescia il pallone e fa prendere all'apertura la parte superiore per dove il gas, meno pesante dell'aria, sfugge e si diffonde facilmente nell'atmosfera, lasciando ben presto vuoto l'aerostato, che cade al suolo per la sua gravità.

657. Poco dopo l'invenzione degli aerostati alcuni si cimentarono a salire nell'atmosfera, raccomandando il pallone a funicelle assicurate al suolo. I primi però che ebbero l'ardimento di abbandonarsi, come si dice, a *pallone perduto*, furono in Francia Pilatre de Rozier e il marchese Darlandes affidandosi ad un globo di tela ad aria rarefatta, il cui asse verticale era di 24 e quello orizzontale di 15 metri. Essi partirono dal castello di *La Muette*, distante circa un quarto d'ora da Parigi, il giorno 21 novembre 1783, essendo saliti all'altezza di alcune centinaia di metri e rimasti in aria circa 20 minuti.

Il cavalier Andriani fu il primo che salutò il cielo d'Italia elevandosi nell'atmosfera con un pallone volante. La sua machina era ad aria rarefatta e quasi sferica, avendo il diametro di circa 23 metri. L'esperimento venne eseguito alla sua villa di *Moncucco*, distante un'ora ed un quarto circa da Milano. Egli s'innalzò il giorno 25 febbraio 1784 in compagnia del meccanico Gerli, essendo rimasti in aria circa 20 minuti, e saliti ad un'altezza tale che l'aerostato si vedeva alla distanza di 14 chilometri.

Il primo viaggio aereo in Inghilterra fu intrapreso dall'italiano capitano Lunardi, il giorno 15 settembre del 1784. Il globo era a gas idrogeno, aveva 11 metri di diametro e rimase librato nelle re-

gioni delle nubi un'ora e mezzo, salendo all'altezza di circa 2 chilometri.

In Germania il primo volo cogli aerostati fu eseguito più tardi da Blanchard verso la metà dell'anno 1785.

Dopo questi primi cimenti, le ascensioni aerostatiche si moltiplicarono in ogni paese d'Europa e d'America; ed attualmente se ne contano parecchie migliaia con esito più o meno felice. Noi ci limiteremo ad indicare gli aeronauti, che salirono alle maggiori altezze, in confronto anche coi punti più culminanti della terra.

Giogo di Stelvio, punto più elevato carrozzabile d'Europa sulla strada, che conduce dall'Italia nel Tirolo settentrionale	*metri*	2814
Humboldt è salito per terra, sul monte Chimborazo in America, all'altezza di	»	5880
Robertson in America (Stati-Uniti) con un aerostato a gas	»	6897
Gay-Lussac in Francia (Parigi) con un aerostato simile	»	7016
Lunardi in Italia (Napoli) con un aerostato simile (1)	»	7638
Andreoli in Italia (Milano) con un aerostato simile (2)	»	7925
Andreoli e Brioschi in Italia (Padova) con un aerostato simile (3)	»	8265

(1) Ciò si ricava dall'opuscolo: *Ragguaglio circostanziale del primo viaggio aereo in Inghilterra felicemente eseguito dal capitano Vincenzo Lunardi, con varie lettere concernenti altri suoi viaggi nell'atmosfera*. Palermo 1790. Stamperia Gagliani. In esso si trova che, nel viaggio aereo eseguito in Napoli il giorno 15 settembre 1789 segnando il barometro all'atto della partenza pollici 27. 9, egli salì ad un'altezza che il mercurio discese a pollici 11, mentre il termometro segnava circa 0°. Ora, calcolando colla formola succitata l'altezza corrispondente a quell'abbassamento della colonna barometrica, col prendere 18° centesimali per la temperatura alla stagione inferiore, si trova ch'egli si elevò metri 7630 sopra Napoli a metri 7638 sul livello del mare.

(2) Questo volo aereo fu intrapreso da Andreoli nel giorno 18 ottobre 1807, e l'altezza è stata valutata trigonometricamente con osservazioni istituite in due differenti stazioni (Si vegga il *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli, fascicolo di gennaio del 1808, pag. X).

(3) Questo volo fu intrapreso nel giorno 22 agosto 1808; l'altezza fu pure valutata trigonometricamente con osservazioni istituite dagli astronomi della specola di Padova, e il risultato delle loro osservazioni pubblicato nei *Commentari astronomici della R. specola di Napoli*, tom. I.

Il Davalagiri, nel gruppo dei monti Imalaia nell'Asia, è elevato sul livello del mare di . . . . . » 8336
Il Chimborazo, il più elevato monte d'America . . » 6529
Il monte Bianco, il punto più culminante d'Europa . » 4810

Io rettificai sino dall'anno 1827 (1) l'errore dei Francesi, che ritenevano la più grande altezza, cui fosse giunto l'uomo nell'atmosfera, essere quella cui era salito Gay-Lussac nell'aerostato a gas; mentre Lunardi, Andreoli e Brioschi si elevarono molto di più del fisico francese. Brioschi era astronomo della specola di Napoli, per cui il risultato delle osservazioni fatte, nel volo aereo eseguito da lui a Padova assieme all'Andreoli, si pubblicò nei *Commentari* della specola medesima. Dopo quella rettificazione, abbiamo veduto che in parecchi libri e in molte relazioni di voli aerei si è corretto l'errore.

658. Ci rimane a dire del modo di valutare la forza ascensiva degli aerostati, e la quantità di materie necessarie per gonfiare quelli a gas.

Nel caso che il globo sia di forma sferica ed abbia il diametro d, la sua superficie sarà espressa da πd^2 e il volume da $\frac{\pi d^3}{6}$. Chiamando G il peso d'un metro cubico d'aria alla pressione ordinaria e g il peso dell'egual volume di gas idrogeno o d'aria rarefatta, sarà $\frac{\pi d^3}{6}$ G il peso dell'aria rimossa dal pallone e $\frac{\pi d^3}{6} g$ il peso del fluido contenuto nel medesimo. Notando con p il peso d'un metro quadrato della stoffa, di cui è formato il globo, risulterà $\pi d^2 p$, il peso totale dell'involucro. Ora, secondo i principii idrostatici comuni ai fluidi liquidi ed aeriformi, si avrà per la forza ascensiva (§ 519)

$f = \frac{\pi d^3}{6} G - \frac{\pi d^3}{6} g - \pi d^2 p$. Gli aerostati però hanno comunemente la forma, che si avvicina ad un elissoide di rivoluzione; per cui, se si dicono D, d gli assi maggiore e minore, si ha per la forza ascensiva:

$$f = \frac{\pi D d^2}{6} G - \frac{\pi D d^2}{6} g - \pi D^2 p.$$

(1) Vedi l'appendice alla *Gazzetta di Milano* del giorno 24 aprile 1827.

Per l'aria atmosferica alla densità ordinaria è $G=1,3$ chilogrammi; e ritenendo che il gas idrogeno, con cui si gonfiano gli aerostati, contiene molta umidità e qualche altro fluido più pesante, si può fare $g=\frac{1,3}{8}$, quantunque l'idrogeno abbia la gravità specifica 13 in 14 volte minore di quella dell'aria. Riguardo all'aria rarefatta si può ritenere $g=\frac{1,3}{2}$, sapendosi che al calore dell'acqua bollente si avrebbe $g=1,3\times\frac{2}{3}$. Inoltre pei palloni costrutti di taffetà gommato si può ritenere $p=0,25$ chilogrammi e per quelli fatti di tela foderata di carta $p=0,60$ chilogrammi. Con questi dati si ha $f=752,10$ pel pallone, con cui s'innalzarono Pilatre de Rozier e il marchese Darlandes; cioè la forza ascensiva del solo pallone sarebbe stata di chilogrammi 752,10, la quale doveva sollevare i due aeronauti colla galleria, la grata del fuoco, il combustibile ecc. Il globo, di cui si è servito Lunardi, era quasi sferico ed a gas. Si avrà quindi per esso $f=697,70$; cioè la forza ascensiva sarebbe stata di chilogrammi 697,70. Si noti però che, quando il globo è costrutto, è meglio valutare direttamente il terzo termine del secondo membro dell'equazione pesando l'intero involucro del pallone.

Quando si vuole gonfiare un pallone di gas idrogeno importa di conoscere prossimamente la quantità di materie, che si richiedono per lo sviluppo del gas necessario a tale scopo. Si determina primiemente la capacità del dato pallone, la quale supporremo di 300 metri cubici. Fatto ciò si osservi che, per avere un metro cubico di gas idrogeno, si richiedono chilogrammi 3,9 di zinco, altrettanto d'acido solforico e chilogrammi 26 d'acqua; e quindi per empire il dato aerostato sarà necessario:

Acqua	chilogrammi	$26\times300=$	chilogrammi	7800
Limatura di zinco	»	$3,9\times300=$	»	1170
Acido solforico. .	»	$3,9\times300=$	»	1170

Nel caso si adoperi il ferro invece dello zinco, bisognerà mettere un poco più d'acqua.

639. Si è cercato in ogni tempo il modo di dirigere le machine aerostatiche nell'atmosfera; ma sinora tutti i tentativi fatti riuscirono infruttuosi. La direzione delle machine idrostatiche galleggianti sulle acque dei laghi e dei mari, non è un argomento concludente a

farci credere che vi debb'essere anche un mezzo per dirigere i palloni volanti nell'atmosfera. Le navi e i bastimenti galleggiano sull'acqua e stanno in parte demersi da questo liquido; gli aerostati invecè si trovano interamente sommersi nell'aria. L'acqua inoltre è un fluido 770 volte più denso dell'aria, e presenta colla sua inerzia un punto d'appoggio ai congegni, che in parte si muovono fuori di essa per ispingere il naviglio secondo una data direzione; mentre l'aria, oltre la sua poca densità, non presta ai congegni medesimi egual modo d'azione. Il problema quindi della navigazione aerea deve riporsi fra quelli che non possono ricevere una vera soluzione nell'attuale stato delle cose.

I globi aerostatici sinora riuscirono piuttosto di divertimento negli spettacoli pubblici, che di vantaggio alla scienza. Per essi si ha soltanto qualche dato intorno allo stato elettrico ed all'intensità magnetica nell'alto dell'atmosfera, sulla costituzione dell'aria in quelle elevate regioni, e sulla temperatura e l'umidità degli strati superiori del fluido, che circonda il nostro globo. Parleremo dei risultati ottenuti intorno a quelle esplorazioni nei capitoli seguenti, che trattano delle sostanze imponderabili. In quanto all'ultimo punto, la siccità in quelle elevate regioni è così grande che i corpi igroscopici perdono rapidamente la loro umidità, e si storcono e sono tormentati in tutti i versi.

SEZIONE II.

Della dinamica degli aeriformi od aerodinamica.

660. I movimenti dei fluidi aeriformi riescono ancor più complicati, e le loro leggi ancor più difficili ad essere determinate di quelle dei liquidi (§. 547). I gas unitamente ai vapori sono per loro natura soggetti a diverse cause perturbatrici, che modificano in tante maniere differenti le condizioni, sotto cui essi concepiscono i diversi movimenti, e variano e complicano i fenomeni che ne dipendono. Egli è per ciò che bisogna ricorrere all'esperienza per non essere condotti a risultamenti erronei.

L'aerodinamica, conosciuta altresì sotto il nome di *pneumatica*, si occupa del moto dei gas e dei vapori stabilendone i principii fondamentali, come pure degli apparati con cui questi fluidi si mettono in movimento e della maniera con cui essi medesimi diventano motori di altri corpi.

I fluidi elastici, al pari dei liquidi, possono effluire da orifizj pra-

ticati in pareti sottili, e trascorrere eziandio per tubi più o meno lunghi applicati agli orifizj medesimi. Il loro efflusso può farsi sotto pressioni costanti o variabili, e in ognuno di questi casi si richieggono apparati differenti, che impareremo a conoscere nel corso di questa sezione.

661. Consideriamo un fluido elastico rinchiuso in un vaso e dotato della tensione dipendente dalla forza con cui è stato compresso; tosto che gli viene permessa l'uscita o gli si presenta spazio per estendersi, esso si dilata e prende un volume maggiore diminuendosi con ciò la tensione. Questa tensione è sempre misurata dai pesi equivalenti alla reazione che si oppone ad essa e l'equilibra. Se nel vaso quindi siavi contenuta dell'aria alla media pressione atmosferica, essa potrà colla sua tensione equilibrare una colonna di mercurio di 76 centimetri di altezza, oppure una d'acqua di centimetri $76 \times 13,6$ eguale a metri $10,3$, ossia una d'aria d'uniforme densità di metri $10,3 \times 770 = 7931^m$, per essere il mercurio di circa 13,6 più pesante dell'acqua e questo liquido di circa 770 volte più dell'aria, presi alla temperatura zero e l'aria alla media pressione.

La velocità dei fluidi elastici uscenti dai vasi si determina col teorema di Torricelli, il quale non solo si verifica pel moto dei liquidi (§. 549), ma eziandio per quello degli aeriformi. Per mostrare come il teorema si applichi ai fluidi elastici, consideriamo l'aria rinchiusa nel vaso precedente alla tensione misurata dalla colonna d'uniforme densità e dell'altezza di 7931^m, equivalente ad una di mercurio di $0^m,76$. Secondo il teorema su citato, la velocità iniziale, con cui l'aria uscirà per gettarsi nel vuoto, è dovuta all'altezza di 7931^m. Essendo a quest'altezza, sappiamo che si ha la velocità $v = \sqrt{2ga}$ (§. 247), e perciò quella richiesta $v = \sqrt{2 \times 9,8 \times 7931}$, ossia $v = 394^m,29$. Dunque l'aria, uscendo pel foro del vaso dove è rinchiusa, si getterebbe nel vuoto colla velocità iniziale di metri 394,29 per secondo. Questo risultato può dare un'idea del primo impeto dell'aria, che rientra nei recipienti dove si è fatto il vuoto colla machina pneumatica, e del rumore che vi genera (§. 596). Dal momento però che si è introdotto il primo buffo di fluido, quello seguente non si precipita più nel vuoto, ma in uno spazio dove havvi, ad un certo grado di rarefazione, il fluido già entrato, e trova un'opposizione che ne altera la velocità.

Chiamiamo d la densità del fluido al fondo del vaso, sotto cui havvi

lo spazio vuoto dove esso deve sboccare per l'orifizio, D la densità del mercurio nel barometro, a l'altezza della colonna barometrica ed x l'altezza del fluido elastico nel caso d'uniforme densità d per avere una colonna di peso equivalente alla tensione: sarà (§. 603)

$d : D :: a : x = \frac{aD}{a}$. Siccome $v = \sqrt{2gx}$; così si avrà $v = \sqrt{2g\frac{aD}{d}}$, che esprime in generale la velocità con cui il fluido aeriforme si getta nello spazio vuoto.

662. È raro il caso, in cui l'aria o altro fluido debba gettarsi in uno spazio assolutamente vuoto; d'altronde la velocità è ben presto modificata dalla resistenza del fluido già entrato, e queste modificazioni, come pure il tempo necessario all'efflusso d'una data quantità di gas, si sono sottoposte all'analisi matematica e si sono dedotte alcune formole. Le velocità, che si determinano con queste formole, sono le *teoriche*, e per verificare la teoria è necessario metterle a confronto colle *velocità effettive* date dall'esperienza, le quali si determinano osservando la quantità di fluido, che esce dal vaso in un dato tempo in un modo somigliante a quello dei liquidi (§. 551).

Secondo le sperienze di Lagerhielm (1) e di Aubuisson (2) le velocità effettive riuscirono minori di quelle teoriche; da questo conchiusero che la vena fluida uscente dall'orifizio prova una contrazione come nei liquidi (§. 550). Cercando quindi quale grandezza bisognava dare alla sezione contratta per mettere d'accordo la formola con l'esperienza, si è trovato ch'essa deve essere di 0,61 in 0,62 di quella dell'orifizio.

Quando vi erano applicati tubi di forma cilindrica o conica della lunghezza non maggiore di 7 in 8 volte il loro diametro, l'erogazione diventava maggiore di quella per gli orifizj in pareti sottili, come nei liquidi (§. 557). Pei tubi cilindrici la contrazione della vena risulta, secondo d'Aubuisson, di 0,93 e per quelli conici di 0,95.

Intorno all'efflusso degli aeriformi per gli orifizj istituì diverse sperienze anche Schmidt (3), il quale ne dedusse: 1° i fluidi aeriformi nello sgorgare per piccoli fori seguono, a pari circostanze, le stesse leggi dei liquidi; 2° le quantità dei gas erogati nell'egual tempo sono in ragion composta diretta delle velocità e delle aeree degli orifizii; 3° gli orifizj sono in ragione della radice quadrata dell'altezza a d'una

(1) *Memorie dell'Accademia di Stoccolma* dell'anno 1823.
(2) *Annales des mines*, tom: XIII, pag. 483, 1826.
(3) *Annalen der Physik*, di Gilbert, Fascicolo IX, del 1820.

colonna d'aria d'uniforme densità in tutta la sua estensione, e il cui peso sia equivalente alla differenza della tensione del gas rinchiuso nel vaso e della pressione atmosferica esterna; 4° la grandezza assoluta della velocità dipende dalla forma e dalla specie dell'apertura.

663. Si sono istituite delle sperienze intorno alla condotta dei gas per lunghi tubi al pari dei liquidi (§ 558). Girard e Cagniard Latour hanno approfittato dei tubi di condotta del gas illuminante per istituire in grande somiglianti sperienze sull'aria comune e sul gas idrogeno carburato (1). Dalle loro indagini risulta: 1° il gas idrogeno carburato e l'aria atmosferica si muovono sotto l'egual pressione secondo le medesime leggi e provano l'egual resistenza negli stessi tubi, a malgrado della loro differente densità; 2° la resistenza, che incontrano quei due gas nel loro movimento, è esattamente proporzionale al quadrato della loro velocità media; 3° le quantità erogate di quei fluidi nel moversi per tubi di grandezza uniforme, sono sempre in ragione diretta della pressione indicata dal manometro nel serbatoio e in ragion inversa della radice quadrata della lunghezza del tubo di condotta che percorrono.

Queste sperienze vennero istituite con due tubi, il primo dei quali aveva 81 millimetri di diametro e le lunghezze successive di 129 sino a 623 metri; il secondo era del diametro di 16 millimetri e delle successive lunghezze di 37 sino a 126 metri. La pressione in tutte queste sperienze, indicata dal manometro, era di 34 millimetri d'acqua. Un orifizio in pareti sottili dello stesso diametro del piccolo tubo dava un'erogazione undici volte maggiore di quella pel tubo di 126 metri. Questo rapporto risultò eguale tanto sperimentando coll'aria quanto col gas idrogeno carburato.

Furono istituite recentemente sperienze sulla condotta dell'aria atmosferica per tubi (2), dalle quali in generale si deducono le medesime conseguenze. Esse furono analizzate ed intraprese allo scopo di determinare la perdita di forza motrice, che prova l'aria nel transitare per lunghi tubi d'alimentazione d'un sistema motore ad aria compressa su d'una strada ferrata.

664. Per le applicazioni alla pratica importa di avere direttamente, sotto date circostanze, la quantità di fluido erogato in un dato tempo dall'apertura fatta all'estremità d'un tubo di condotta. La formola a tal uso è: $Q=334d^2\sqrt{p}$, che dà in metri cubici la quantità di fluido

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, tom. V, pag. 383.
(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, tom. XXIV, pag. 56.

erogate in un secondo per un tubo del diametro d alla cui estremità il manometro a sifone indica la pressione p (1). Per l'uso di questa semplice formola è necessario conoscere vicino alla bocca d'erogazione la pressione p, che dipende dalla lunghezza e dal diametro del tubo. Volendo un'espressione, dove entri la pressione P indicata dal manometro del serbatoio, bisogna introdurvi la lunghezza L del tubo, ed in questo caso la formola è la seguente $Q=2279\sqrt{\frac{PD^5}{L+47\frac{D^5}{d^4}}}$, che esprime in metri cubici la quantità di fluido somministrato dall'apertura di diametro d trascorrendo il tubo della lunghezza L e di diametro D. Che se è $d=D$, vale a dire se l'apertura eguaglia la sezione del tubo, allora scomparisce parte della resistenza e si cambia il coefficiente, diventando la formola $Q=2450\sqrt{\frac{PD^5}{L+47D}}$, e nel caso del manometro ad acqua $Q=664\sqrt{\frac{PD^5}{L+47D}}$.

Nella condotta dei gas giova l'osservare che le prominenze, i rigonfiamenti, le ineguaglianze, le curvature dei tubi fanno variare la velocità e la quantità di fluido erogato in un dato tempo, e quindi si avrebbero dei risultati erronei quando queste formole si dovessero applicare allo scolo per tubi, con particolari inflessioni e con ineguaglianze sensibilmente diverse di quelle dei tubi comuni.

665. Appartiene a queste dottrine il fenomeno osservato nelle correnti d'aria dei soffiatoi delle fucine, che si riduce all'esperienza seguente istituita col *disco oscillante*. Il cannello AB un poco conico, della lunghezza di 22 centimetri e del diametro di circa 5 millimetri (fig. 238), è saldato al piccolo recipiente C, sul cui coperchio s'innalza verticalmente il tubetto d del diametro di 2 in 3 millimetri, che termina nel disco orizzontale ab, su cui riposa l'altro disco m di cartone o di legno quasi dell'egual grandezza. Soffiando nel tubo AB, oppure mettendo in comunicazione l'estremità A con una vescica piena d'aria o con un serbatoio qualunque di fluido, che si dirige in corrente per AB, il disco m si solleva per dar passaggio a questa corrente, e ben presto si forma un efflusso per l'intervallo compreso fra i due dischi. Una volta che l'efflusso sia stabilito, il disco m concepisce un

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, tom. VII, parte 1.a, pag. 664.

celere movimento d'oscillazione senza essere dalla corrente lanciato distante dal piano *ab* su cui riposava, se si cerca di levarlo da tale posizione oppone una resistenza sensibile e sembra aderente al piano sottoposto.

Il fenomeno si spiega coi principii stabiliti. L'aria compressa abocca dal tubo angusto *d*, si dilata tosto giunta nell'intervallo dei due dischi, mantiene la velocità dell'efflusso e non può quindi empire quell'intervallo con una densità eguale a quella dell'atmosfera. Si esercita per ciò contro la superficie inferiore del dischetto una pressione d'aria rarefatta e contro la superiore quella più densa dell'atmosfera. Per la prevalenza della pressione esterna sull'interna, il dischetto *m* è trattenuto con una certa forza diretta verso *ab*. Nella dilatazione subitanea dell'aria compressa all'uscire dal tubetto *d*, si presenta un fenomeno consimile a quello della vena liquida, che sbocca dalla parte più ristretta d'un tubo conico per riempiere le sezioni sempre più crescenti, dove successivamente si allarga e produce nella parte centrale una specie di aspirazione o di succhiamento, che fu osservato da Venturi e da altri idraulici.

Il fenomeno fu studiato in Francia da Hachette (1) e da altri fisici (2) e in Italia principalmente dal prof. Gherardi, che l'ha considerato sotto ogni aspetto e ne ha variato le sperienze in diverse maniere (3). Volendo dare un'idea della forza con cui il dischetto *m* tende verso il piano *ab*, chiamiamo S la superficie di questo piano circolare eguale a quella del disco *m*; *s* l'area dell'orifizio; *p* la pressione dell'aria contro un punto della superficie del disco *m* corrispondente all'orifizio la cui area si è detta *s*; *p'* la pressione contro ogni punto della rimanente superficie dello stesso disco, la quale è rappresentata S—*s*; ed infine P la pressione dell'atmosfera sopra ogni punto della faccia superiore dello stesso disco *m*: la pressione esterna sarà espressa da SP, per la quale il disco mobile tende ad essera riavvicinato a quello fisso *ab*: e quella interna, opposta alla prima, verrà rappresentata da $sp+(S-s)p'$. Siccome la prima è prevalente sulla seconda, così si avrà: $SP>sp+p'(S-s)$, ossia $S(P-p')>s(p-p')$. Da ciò si apprende che quanto più *s* è piccolo per rapporto ad S, tanto più prevalenza vi sarà della forza esterna sull'interna, e tanto più la prea-

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, tom. XXXV, p. 54. 1826

(2) *Annales* suddetti, tom. XXXVI, pag. 69.

(3) Si vegga la Memoria di lui nei *Commentari dell'Accademia dell'Istituto di Bologna*, del 1841.

sione p della corrente fluida potrà essere grande in confronto della pressione atmosferica P corrispondente.

Che il fenomeno dipenda da quanto si è esposto, se ne avrà la conferma nell'esperienza seguente, che più volte fu da noi ripetuta. Il tubo conico *ab* della lunghezza di circa 14 centimetri (fig. 239), ha ad un'estremità il diametro di 2 ed all'altra di 4 in 5 millimetri, ed è congiunto inferiormente col tubo *cd*, il quale s'incurva e porta all'estremità la bolla B, dove è contenuta dell'acqua colorita. Per l'estremità più angusta *a* si soffia nel tubo, e si genera così una corrente fluida, la quale sgorgherà per *b*, verrà nel suo cammino ad occupare successivamente uno spazio più largo, e si dilaterà diminuendo la sua tensione, come nella precedente sperienza. Per questa diminuzione di tensione si osserva infatti salire l'acqua in *a* al disopra del suo livello *d*. Ma se si soffia dall'estremità opposta del tubo conico *ab*, e la corrente di gas s'introduce da *b* obbligando a sgorgare per l'apertura *a*, allora il fluido nel suo moto progressivo prova una compressione e la colonna d'acqua colorita si abbassa al disotto del livello naturale *d*.

666. Il precedente fenomeno non solo interessa la scienza, ma diventa di grande importanza nell'uso delle machine a vapore. Ognuno sa che queste machine si muniscono di valvole a cono o ad animella, destinate ad aprirsi per dar sfogo al vapore sovrabbondante che si fosse formato, e dette per ciò *valvole di sicurezza*. Ora può accadere che il sottile velo di vapore, uscente dalla caldaia tosto che è sollevata la valvola, produca il fenomeno precedentemente esaminato, ed invece d'essere la valvola lanciata a distanza per lasciare la libera uscita al vapore, abbia nascimento una forza d'impulsione esterna che impedisca il moto al fluido eccedente e d'altrettanto più capace a tenere vicina la valvola alle pareti del foro quanto più è grande il pericolo.

Il fenomeno in discorso, esaminato da Thénard e Clement-Desormes l'anno 1826 nei soffiatoi delle fucine di Fourchambault, era già stato osservato qualche anno prima da altri fisici, che lo fecero soggetto di sperienze speciali (1). Robert infatti istituì a Manchester nel 1824 parecchi sperimenti su quel fenomeno e li proseguì nel seguente anno, fra i quali uno dei più interessanti è il seguente. Un tubo di ferro A del diametro di pollici 0,75 (quasi 19 millimetri) comunicava con una caldaia a vapore (fig. 240), e si congiungeva a vite con un

(1) Si vegga il *Philosophical Magazine and Ann. of philosophy*, tom. V, pag. 247.

altro di rame B del diametro di pollici 2 (circa 5 centimetri) e della lunghezza di pollici 9 (centimetri 22,5). Quest' ultimo era chiuso da una lastra dello stesso metallo, munita al centro d'un foro del diametro di 1 linea (millimetri 2,5). Un piccolo tubo F, aperto alle due estremità e superiormente tirato in piccolissima punta, venne per questa parte disposto vicino all'apertura del tubo B da dove usciva una corrente di vapore; mentre per l'estremità opposta pescava nell'acqua contenuta in un vaso. Egli trovò che, sotto l'azione della corrente di vapore, l'acqua nel tubo F ascendeva all'altezza di 12 pollici (centimetri 30).

667. I fluidi aeriformi si mettono in movimento con apparati appositi, che differiscono nella costruzione meccanica, ma in fondo dipendono dagli stessi principii di quelli impiegati pei liquidi (§. 567 e seguenti). Per ottenere una corrente costante di gas e riconoscerne tosto la quantità erogata in un dato tempo servono i *gazometri*. Quello più generalmente adottato nelle scienze e nelle arti è il *gazometro a due secchi*. Esso consiste in una specie di secchio *abcd* fatto di sottili lastre metalliche (fig. 241) e sostenuto da tre piedi a vite, di cui due vedonsi in *g,h*. Il fondo del secchio è attraversato diagonalmente da una canna metallica saldata al medesimo, sporgente in fuori da ambidue i lati per un certo tratto chiuso a chiavetta *b,c*, e in congiunzione pel suo punto di mezzo con un tubo simile verticale *ef* elevato poco meno dell' altezza interna del secchio. Ad un lato della parete, il secchio ha annesso un'asta verticale *il*, donde deriva in *l* la traversa orizzontale *mn* L'altezza dell'asta *il* è alquanto maggiore di quella *ab* del secchio, ed una delle lunghezze *lm*, *ln* porta la rotella volubile *m*, eguale alla *n*, sporgente sul secchio in guisa che, calata da *p* la verticale *pf*, questa coincide coll'asse *fe* del secchio.

Le due rotelle *m,n* hanno sulla periferia una gola larga e profonda tanto che basti per contenervi una catenella *opqr* fatta a graffi, o ciò che è meglio, articolata come sono le ordinarie degli orologi da tasca. Dall'estremo o della catena pende sospeso pel centro un vaso *tuvx* d'eguale forma del secchio, ma di dimensioni minori, il quale è aperto al disotto in *tx* ed è chiuso superiormente col coperchio *uov* alquanto colmo ossia fatto a volta. Dall'estremo opposto *r* della catenella pende un piatto *s*, sul quale si mettono quei pesi opportuni a fare che il vaso, cui serve di contrappeso, salga e discenda con una data velocità. Calato che sia il secchio interno *tuvx* sino sul fondo dell'altro esterno, nel qual caso giunge quasi a toccare in o la canna *ef*, se si versa dell'acqua nel secchio *abcd*, l'aria contenuta nel vaso interno

esce o pel canale *feby* o pel corrispondente *fec*, secondo che si è aperta la chiavetta *b* o l'altra *c*. Espulsa in tal modo tutta l'aria, si chiude la chiavetta *c* e si apre la *b*; e posto sul piatto *s* il contrappeso occorrente si fa comunicare la canna *ybef* colla sorgente del gas, il quale passa nel vaso interno e ne viene estratto da poi nel modo stesso, con cui fu da principio espulsa l'aria atmosferica.

La quantità di gas raccolta può essere misurata dall'indice *v*, il quale, nelle varie salite e discese del serbatolo, passa per le diverse divisioni determinate sull'asta *il* coll'introdurre nell'apparecchio dei noti volumi d'aria comune. All'oggetto di conoscere la pressione, cui è sottoposto il gas rinchiuso nel recipiente, è applicato ad esso il manometro a sifone M (§. 608).

Un'avvertenza necessaria ad aversi in molte indagini sperimentali si è che il vaso interno perde od acquista sempre del proprio peso mano mano che discende nell'acqua o ne vien demerso (§. 524); talchè la forza con cui si muove è sempre diversa e mutata in ogni istante del suo movimento, ad onta del bilancio in origine procurato dai contrappesi. Questo diverso movimento del vaso produce una variazione nell'efflusso del gas, il quale in parecchi casi si desidera che sia costante. Per avere un efflusso costante si è pensato ad un modo ingegnoso, di fare cioè che il peso perduto dal vaso nell'immersione sia compensato dal maggior peso che acquista la parte di catena discendente col recipiente interno nel secchio, e all'inverso nella demersione. Osserviamo altresì che all'oggetto di risparmiare la molta copia d'acqua nei gazometri di grandissime dimensioni suolsi fare che il vaso interno *tuvx* si muova tra il secchio esterno ed un terzo vaso minore *a'b'c'd'* saldato sul fondo e chiuso dal coperchio *a'd'*, dal cui centro sporge la canna *af*. Con un tal artifizio pochi chilogrammi d'acqua valgono a racchiudere una grandissima quantità di gas.

Si può dunque avere pel cannello *by* un efflusso costante di gas, che mediante condotti si dirige nel luogo, dove si deve adoprare.

I *grandi gazometri*, che sono destinati a diramare il gas per l'illuminazione sotto una pressione costante, come pure quelli che servono di soffiatoi in alcune grandi fucine delle miniere ed in altri stabilimenti industriali, vengono costrutti sul medesimo principio. Il vaso interno e l'esterno hanno per lo più la forma parallelepipeda, e si compongono d'un'armatura di legno a frequenti traverse determinanti degli spazj rettangolari e facilissime ad essere connesse e disgiunte. Le aperture rettangolari, lasciate dagli inter-

valli delle traverse, si chiudono con lastre di ferro assicurate in profondi intagli praticati nei pezzi di legno. Le commettiture si coprono d'un cemento per chiudere ogni adito all'uscita del gas, e tutto l'insieme è rivestito di alcuni strati d'una vernice ad olio per preservarlo dagli agenti corruttori.

Si danno anche *apparecchi a gas portatili*, i quali sono vasi cilindrici di metallo a robuste pareti, dove si condensa il gas illuminante a parecchie atmosfere mediante una siringa pneumatica (§. 604). Il gas così condensato si porta in questa specie di gazometri nei luoghi da essere illuminati. Aperta la chiavetta, il gas sfugge in getto dai pertugi fatti all'estremità del tubo. Nell' *apparato di Clarke e di Newman*, per la combustione dell'idrogeno col puro ossigeno, questi due gas si condensano pure in un recipiente consimile mediante la siringa pneumatica. Nel condensamento, sviluppandosi calorico, vi ha pericolo che si accenda il miscuglio gazoso, e produca una terribile esplosione colla perdita inevitabile dell'operatore. È molto più comodo e sicuro l'*apparecchio di Crivelli*, nel quale ciascun gas è separatamente condensato nell'egual modo in apposito recipiente, e l'idrogeno abbrucia circondato da un' atmosfera d'ossigeno (1).

668. Un altro gazometro si trova nei gabinetti e nei laboratoi della scienza; il quale non è acconcio a tutte le sperienze, cui si presta il descritto, ma però più semplice e di minor costo, essendo un *gazometro ad un solo secchio*. Esso risulta d'un cilindro cavo *abcd* fatto di lamine metalliche e chiuso perfettamente in ogni sua parte tranne in *b, c, e, d* (fig. 242). In *b, c* è munito d'un cannello chiuso a chiavetta; in *d* vi è applicato il manometro M, e finalmente in *e* si trova un tubo verticale *eh*, che discende sino quasi a toccare il fondo del recipiente, è fornito della chiavetta *f* e sormontato dall'imbuto *g*.

Allo scopo di disporre l'apparato per ricevere il gas, si chiudono le chiavette in *b, d* tenendo aperte le altre in *c, f*, e si versa dell' acqua nel recipiente per l'imbuto *g*, la quale espelle l'aria per l'apertura *c* e giunge ad empirlo interamente di liquido. Per introdurre il fluido aeriforme nel gazometro, si unisce saldamente il cannello *c* col condotto del gas, si chiudono le chiavi *d, f* e si aprono le altre *b, c*. L'acqua, sgorgando pel suo peso dall'apertura *b*, deter-

(1) Si vegga l'opuscolo succitato: — *Nuovo meccanismo per ottenere la più vantaggiosa combustione dell'idrogeno mediante l'ossigeno*. Milano 1818.

mina il gas ad entrare pel cannello c ed a radunarsi nella parte superiore del gazometro. A misura che la capacità del recipiente si empisce di gas, si riconosce la quantità di fluido entrato dal livello dell'acqua nella canna di vetro *op*, stabilita di canto al gazometro e in comunicazione colle sue due estremità colla capacità interna di essa. Il livello infatti dell'acqua nella canna indica quello dello stesso liquido nel gazometro (§. 513) e quindi la parte che è riempiuta di gas, che è determinata dalle unità di misura della scala stabilita, come nel gazometro precedente, coll'introduzione di noti volumi di aria comune.

Empiuto in tal maniera di gas l'intero gazometro, si può dirigerlo sotto una pressione costante in corrente per un dato condotto. A tal fine si chiudono le chiavette in *b,c*, e si aprono quelle in *f,d*. Si versa dell'acqua nell'imbuto *g*, la quale per la canna *eh* discende sul fondo del gazometro e s'innalza in esso restringendo sotto minor volume il gas, il quale spiega con ciò una tensione indicata dalla differenza di livello del mercurio nel manometro M. Questa tensione sarà eguale al peso della colonna d'acqua nella canna *eh*, la quale si terrà ad un'altezza costante facendo affluire nell'imbuto nuov'acqua a misura che esce il gas dal cannello c, che si è aperto dopo essere stato posto in comunicazione col condotto, pel quale deve essere diretto il gas.

Pei gas che hanno affinità con l'acqua si adopera il mercurio, ed allora tanto questo come l'altro gazometro si costruiscono di ghisa.

669. I *piccoli gazometri*, che servono per alcuni accendilumi imaginati dalla scienza, sono formati di vetro, e la corrente succede sotto la pressione d'una colonna d'acqua, come nel precedente gazometro. Nel recipiente A è contenuto il gas, premuto dalla colonna liquida del vaso superiore B, che comunica col recipiente inferiore mediante il tubo *ba* (fig. 243). Il gas quindi sbocca dal cannello F con una pressione dovuta ad una colonna d'acqua, che ha per altezza la distanza fra il livello *a* del vaso A e il livello *mn* dell'altro B.

L'efflusso del gas pel cannello F non si fa con una velocità costante, diminuendo questa a misura che s'abbassa nel vaso B il livello *mn* dell'acqua, e s'innalza al contrario nel vaso A. Per ottenere un efflusso costante di gas si potrebbe chiudere la bocca C del recipiente B con un tappo, il cui asse fosse trapassato da un tubo come nel vaso di Mariotte (§. 578). L'acqua entrerebbe dal vaso B nel recipiente A con una velocità costante transitando pel cannello *ba*, che ha l'estre-

mità *a* rivolta in alto. Per cui se ad ogni minuto passano, per esempio, dalla capacità superiore B nell'inferiore A, 60 centimetri cubici d'acqua, bisogna pure che 60 centimetri di gas siano espulsi pel cannello F nel medesimo tempo, e quindi che l'erogazione si faccia con velocità costante.

670. I *soffietti* ed i *mantici comuni* mettono in movimento l'aria e la dirigono in corrente sopra corpi in combustione per avvivare il fuoco sui focolari domestici e nelle fucine. Parimenti i *mantici* ed i *portaventi degli organi* sono ordigni motori dell'aria, coi quali si dà il fiato ai tubi sonori di quegli strumenti musicali. Si sono fatti portaventi interamente di legno, facendo trascorrere la guancia mobile ad esatto combaciamento con due pareti laterali, che compiono il chiudimento della capacità del mantice invece della pelle.

Questi strumenti hanno un'azione intermittente, che è analoga a quella della siringa pneumatica (§. 604); e il fluido è spinto fuori pel cannello dell'efflusso con una velocità dipendente dalla forza, con cui le due guance sono premute l'una verso l'altra. Si è pensato però di togliere ai soffietti ed ai mantici comuni una tale intermittenza, coll'aggiungervi al disotto un'altra capacità o camera soffiante, divisa dalla prima mediante un diaframma formato d'un'assicella di legno; e si ha così il *soffietto* o *mantice a doppio effetto*. Questa seconda camera, che ha la guancia munita pure di una valvola eguale, mette capo similmente nel cannello d'erogazione, e tende a chiudersi da sè per mezzo di pesi o di molle, per cui si riavvicina la guancia al diaframma. Allorquando si soffia colla camera comune, l'altra camera si empisce d'aria, che è diretta pel cannello quando la prima capacità si carica di fluido. In tal modo si ha una corrente d'aria pressocchè continua.

671. Appartiene a questa classe di motori dei fluidi aeriformi il *soffietto per gli asfittici*, col quale si producono due correnti, l'una d'*aspirazione*, l'altra d'*inspirazione*, imitando così la maniera di agire del polmone umano. Esso è formato di due soffietti comuni accoppiati, ossia d'un sol soffietto diviso in due camere o capacità da un diaframma di legno eguale alle guance e fornito al pari di esse di manico. Ciascuna camera ha due valvole ad animella, una delle quali è applicata al foro che mette nel cannello e l'altra al foro praticato nella guancia del soffietto. In una di queste camere la valvola del cannello si apre all'indentro, mentre quella della guancia si apre all'infuori. Nell'altra camera è all'inverso, aprendosi la valvola del cannello all'infuori e quella della guancia all'indentro. La prima ca-

mera costituisce il *mantice d'aspirazione*, la seconda il *mantice d'inspirazione*.

Per mettere in azione questa machinetta, si appoggia il manico del diaframma al ventre, tenendo colle mani i manichi delle due guancie esteriori, e si apre il soffietto discostando le guance medesime l'una dall'altra. In questo primo movimento le due camere si riempiono d'aria: in quella d'aspirazione questo fluido entra pel cannello, e nell'altra d'inspirazione pel foro della guancia, aprendosi le rispettive valvole. Riavvicinando poscia le due guance esterne, si chiude il soffietto, e l'aria introdotta è espulsa dalle due capacità: quella contenuta nel mantice d'aspirazione pel foro della guancia, e l'altra che trovasi nel mantice d'inspirazione pel cannello.

Con un tubo flessibile di cuojo si mette in comunicazione il cannello del soffietto col polmone dell'individuo asfitico, si alternano quei movimenti del soffietto, e si estrae con ciò dal polmone l'aria mefitica cui vien tosto sostituita l'aria pura o il gas ossigeno. In tal modo si promuove artificialmente nell'ammalato la funzione della respirazione e si perviene spesso a riattivarla in esso naturalmente. Talvolta si congiunge al foro dalla guancia del mantice d'inspirazione un vaso apposito d'ottone con fondo munito di fori, dove si fa abbruciare del tabacco per introdurne nel polmone il fumo, irritarlo e ricondurlo alla primitiva attività.

Si può istituire con questo apparato l'esperienza nella scuola adattando con gli opportuni cannelli a vite, di cui è fornito, una vescica piena d'aria al foro della guancia del mantice d'inspirazione, una seconda vescica avvizza al foro della guancia dell'altro mantice, ed una terza vescica pure appassita al cannello del soffietto. Mettendo in azione la machinetta, si vede l'aria passare successivamente dalla vescica gonfia in quella del cannello e poscia nell'altra applicata alla guancia del mantice d'aspirazione. L'apertura del soffietto deve essere regolata secondo l'età e quindi secondo la capacità del polmone dell'individuo; ed a tal fine vi ha unito allo strumento un arco d'ottone, che si assicura pel suo mezzo al manico del diaframma, e serve a determinare il grado d'allontanamento delle due guance esterne e quindi ad introdurre la dovuta quantità d'aria nel mantice d'inspirazione e ad estrarne in proporzione dal polmone dell'individuo aspirandola nell'altro mantice. La machinetta, adoprata assieme a quelle cure che consiglia l'arte medica, ridona spesso la vita a chi per qualunque causa sia stato colpito d'asfissia.

672. Riunendo un certo numero di soffietti comuni si può otte-

nere una corrente d'aria continua, e si forma il *mantice a rotazione*. Imaginiamo 8 soffietti comuni assicurati per la guancia inferiore ad altrettanti raggi d'una ruota di diametro conveniente, mentre l'altra guancia rimane libera e conserva la sua mobilità. È questa in ciascun soffietto aggravata d'un peso connesso alla medesima. Mettendo in giro la ruota sul suo asse, i pesi vengono a trovarsi ora inferiormente ed ora superiormente al rispettivo soffietto. Nel primo caso essi si aprono e si caricano d'aria, nel secondo si chiudono e l'aria stessa è espulsa pel cannello. Tutti i cannelli dei soffietti comunicano con un tubo applicato all'asse della ruota, da cui parte un condotto che mette capo, p. e., nel focolare d'una fucina: egli è chiaro che nella rotazione si avrà una corrente d'aria continua, che avviverà il fuoco.

673. Nelle grandi fucine per lavorare il ferro tratto dalla miniera, le correnti d'aria per avvivare il fuoco sono prodotte da cadute d'acqua, e si ha così il *soffiatoio idraulico*. In un gran condotto di legno o di ferro cade una corrente d'acqua di diametro più piccolo del condotto medesimo; questa corrente liquida ne genera una aerea, che affluisce da un tubo pei fori laterali praticati verso la metà del condotto. Le due correnti giungono verso il fondo, dove il condotto termina in una capacità alquanto più larga. Nella parte superiore di questa capacità havvi un tubo, pel quale s'incammina l'aria ed è portata a sboccare da un foro ed a soffiare con forza sul fuoco; sul fondo vi sono praticate delle aperture per cui l'acqua si smaltisce in un canale sottoposto con una velocità tale da rimanervene sempre uno strato.

674. Agli apparati per mettere in moto i fluidi aeriformi appartengono i *ventilatori*, che si adoprano per rinnovare l'aria negli ambienti, onde sostituirvene della salubre ed eziandio della più fresca durante le calde ore dei giorni d'estate. L'apparato di questa specie, che può essere applicato in qualche indagine della scienza e nelle arti, è il *ventilatore a forza centrifuga*. Esso è stato imaginato da Desaguliers ed è fondato sul principio altrove dichiarato (§. 380). Si compone questo strumento (fig. 244) d'un asse di rotazione AB cavo internamente, dove mettono capo alcuni canali, che si prolungano a foggia di raggi all'intorno, e che al girare dell'asse concepiscono anch'essi un moto di rotazione dentro una specie di tamburo CDE. I canali si estendono sino ad una certa distanza dalla periferia interna del tamburo, al quale superiormente è annesso un condotto CGEF. Imprimendo un moto di rotazione all'asse, l'aria

contenuta nei canali *mn* è lanciata contro la periferia del tamburo a cui per la cavità dell'asse subentra nuov'aria, che viene lanciata alla sua volta e raduuata all'intorno del tamburo, da dove è obbligata ad entrare nel condotto CGEF per passare al luogo, cui è destinata.

A somiglianza di questo ventilatore è stato costrutto un soffietto, che ha all'esterno la forma dei comuni e si fa agire con un piccolo manubrio sporgente dal mezzo d'una delle pareti, con cui si fa girare la ruota interna, che mette in movimento l'aria. Questi *soffietti a rotazione* sono fatti di latta verniciata e di non molto effetto in confronto dei soffietti comuni.

Il ventilatore a forza centrifuga è stato posto in pratica con gran vantaggio nelle filature mecaniche di cotone per dirigere fuori dell'edifizio manifatturiero, unitamente alla corrente aerea, la polvere ed altre esilissime particelle eterogenee, che si distaccano nel lavorio della bambagia ed altrimenti si diffonderebbero negli ambienti con incomodo e danno delle persone, che vi si trovano. È stato anche applicato al rinnovamento dell'aria in un ospedale, dove l'asse di rotazione faceva 97 rivoluzioni ogni minuto, e col consumo di chilogrammi 4,76 di forza ha dato una rimozione di 53 metri cubici d'aria (1).

675. La maggior parte dei ventilatori sono fondati sullo squilibrio statico dell'aria prodotto dal riscaldamento, nello stesso modo che succede in una massa liquida (§. 579). Nel trattarsi del calorico vedremo come questo principio si applica a riscaldare gli ambienti e le abitazioni; qui diremo come esso sia stato adoprato per rinnovare l'aria e per mantenere la salubrità in quei luoghi, dove qualsiasi causa tende a corromperla.

Nelle sentine dei bastimenti e delle navi pei lunghi viaggi marittimi, l'aria rimane stagnante e si corrompe ben presto per le esalazioni d'ogni sorta, che in esse si diffondono. È necessario quindi spesso rinnovarla onde quegli ambienti non siano nocivi all'equipaggio che vi ha accesso. Il mezzo più efficace, per mantenere sani quei luoghi bassi dei navigli, è la ventilazione fondata sullo squilibrio statico. Il focolare della cucina è generalmente collocato a livello del cassero del bastimento o nella parte superiore. In quei navigli, dove si è posto in pratica un tal sistema di ventilazione, il focolare è fatto con lamiera di ferro e si congiunge con una cassa fatta pure di lastre metalliche, posta a rincontro del sito, dove si accende il

(1) Si vegga il giornale *L'Institut*, sesto anno, n° 257, pag. 524.

fuoco, e chiusa in ogni parte. Da questa cassa partono inferiormente parecchi tubi aspiratori, che si diramano e si prolungano sino verso il fondo della nave; e s'innalza superiormente un canale d'evacuazione, che termina nell'aria libera dell'atmosfera. Acceso il fuoco, l'aria nella cassa si riscalda, diminuisce di peso specifico, e si eleva pel canale sboccando nell'atmosfera. Quest' innalzamento dell'aria determina una corrente nei tubi aspiratori, per la quale subentra nuov'aria nella cassa, che si riscalda alla sua volta ed ascende pure pel canale e si disperde uscendo per esso. Questa corrente d'aria si mantiene e continua sinchè la cassa è riscaldata, e si calcola che, tenendo acceso per un'ora due volte al giorno il fuoco all'uso dell'equipaggio, con una cassa e tubi di convenienti dimensioni si possono rinnovare da 1200 a 1600 metri cubici d'aria, e quindi tenere ventilata la sentina del bastimento con aria salubre. La semplicità di quest'apparato, la solidità delle materie di cui si compone, l'agire da se medesimo senza una forza motrice applicata appositamente, e la continuità della sua azione, lo rendono superiore ad ogni altro congegno imaginato a tale scopo, per cui è stato adottato su parecchi bastimenti.

Negli ordinarii camini si genera una corrente d'aria, che col fumo ascende per la canna, promuove una ventilazione nella stanza, obbligando nuov'aria a rientrare in essa per le fessure degli usci e delle finestre. Siccome la corrente aeriforme prende una velocità, la quale è in ragione diretta della radice quadrata della lunghezza della canna del camino (§. 579); così nei fornelli delle caldaie a vapore si promove l'affluenza dell'aria per la loro bocca ad avvivare il fuoco, elevando alla maggior altezza possibile il condotto pel fumo. È per la stessa ragione che si promuove l'aspirazione dell'aria nei fornelli portatili coprendoli con una specie di cupola di ferro sormontata nel suo centro da un tubo dello stesso metallo, che si eleva all'altezza di alcuni metri; e quanto più quest'altezza è grande tanto più celere è la corrente d'aria che si getta per la bocca sui carboni a rendere più attiva la combustione.

676. Negli ospedali, nei teatri, nelle miniere ed in molte officine delle arti si promove la ventilazione secondo il medesimo principio. L'aria, riscaldata nell'ambiente per le tante persone che vi si trovano, tende ad elevarsi verso la soffitta, e quella meno calda a disporsi verso il pavimento. Si praticano perciò alcuni fori verso l'alto della stanza o dell'ambiente, ed alcuni altri poco lungi dal pavimento in comunicazione con condotti, che mettono capo in luoghi

salubri ed aperti all'atmosfera. L'aria, nell'elevarsi verso la soffitta, sfugge pei pertugi superiori e promove l'introduzione d'una corrente di nuov'aria nella stanza pei fori posti inferiormente. In tal modo si ha una continua ventilazione, per cui si conserva purificata l'aria e salubri i luoghi abitati. La *ventola a molinello*, che in alcuni paesi si applica superiormente al telaio delle vetriate, per promuovere la ventilazione, fa le veci dei fori superiori, mentre per le fessure degli usci e delle finestre medesime entra l'aria dal di fuori. È bensì vero che colla corrente d'aria uscente va perduta una certa quantità di calorico, che per rattemprare la rigidità della stagione si produce nell'inverno con mezzi artifiziali; questa perdita però è compensata dal cambiamento dell'aria ottenuto colla ventilazione, che deve ritenersi come più importante dell'economia di combustibile, giacchè la salute è il primo dei beni dell'uomo, che non bisogna sacrificare per un risparmio insignificante. Allorchè con una ventilazione ben intesa si cerca di rinnovare l'aria negli ambienti abitati dagli uomini, è mestieri di attignerla da luoghi sani ed aperti, dove non siavi verun dubbio che abbia unito qualche principio di corruzione e capace di renderla inetta alla respirazione e nociva alla salute.

677. Non è qui il luogo di far conoscere le diverse cause, che agitano l'atmosfera e producono i venti, una delle quali è l'ineguale riscaldamento dell'aria, di cui parleremo nella parte terza. Non dobbiamo però omettere di dire qualche cosa di certi spiragli d'aria, che si riscontrano in alcuni particolari luoghi e in certe stagioni dell'anno sono diretti in un verso ed in altre nel verso opposto, e che dipendono dallo stesso principio d'ineguale riscaldamento dell'aria.

Vi sono fenditure in alcuni monti donde esce un soffio d'aria freschissima nell'estate, e per ove entra una corrente durante la rigida stagione jemale, quando avvenga che l'aria esterna sia più fredda di quella rinchiusa fra quelle strettissime gole della natura. A Cesi nell'Italia centrale (Umbria) incontrasi un tal fenomeno: d'estate dalla fenditura d'un monte esce fuori un venticello, che Saussure ha visitato nel 1773 in quella stagione ed ha trovato della temperatura di 5°,75 ottogesimali (7° centesimali). La corrente aveva tanta forza da spegnere benanche i lumi accesi. Nell'inverno poi l'aria esterna entra nella fenditura, e con tanta maggior velocità quanto più l'atmosfera è rigida. Di quell'aria si trae profitto per tener freschi i vini, le frutta e simili, che si depongono in specie di cantine apposite ove è condotta la corrente; come pure se n'è tratto partito per rinfrescare gli appartamenti. Nell'estate l'aria annidata nella fenditura

del monte è più fredda di quella esterna, e quindi di maggior peso specifico di questa, per cui sbocca fuori per portarsi nei luoghi basai contigui, lasciando che subentri nuov'aria per la parte superiore. D'inverno invece, quando le giornate sono rigide, l'aria interna è meno fredda di quella esterna, quindi di minor peso specifico, per cui si eleva lungo la fenditura per uscire verso l'alto, promovendo inferiormente una corrente rientrante d'aria. Il fenomeno si riscontra altresì in un monte contiguo a Chiavenna nell'Italia settentrionale, dove per conservare il vino si sono costrutti pure degli edifizi, chiamati nel paese *grotte*. Dello stesso genere sono le così dette *venterole* di diversi luoghi dell'Italia meridionale; una delle quali è posta ai piedi del Vesuvio ed un'altra nell'isola d'Ischia detta *venterola della Funera*.

678. Sullo stesso principio si potrebbe costruire un *soffiatoio* per rendere più attiva la combustione nella *lampada degli smaltatori*. Comunemente in questa lampada la combustione viene avvivata da una corrente d'aria, che l'artefice soffia con un cannello. Si suole altresì alimentarla con una corrente di vapore alcoolico mediante l'apparato rappresentato nella figura 245. In A vi ha una sfera cava di metallo contenente dell'alcoole, dalla cui parte superiore C si dirama il tubo BB, che s'incurva e viene a terminare vicino alla fiamma D della lampada ad olio. Il calorico sviluppato dalla combustione riscalda l'alcoole nella sfera, il quale passa ben presto in vapore e sbocca in corrente pel tubo sulla fiamma D. Alle volte l'avvivamento della combustione si fa con una corrente d'aria prodotta da un mantice a doppio effetto (§. 670). Questa stessa corrente si potrebbe ottenere applicando inferiormente ad una sfera molto più grande della A un tubo, pel quale affluirebbe dell'aria atmosferica, a misura che quella dilatata nella sfera si porterebbe in corrente sulla fiamma della lampada.

679. L'aria non solo è un corpo movibile, ma si presta come motore dei solidi e dei liquidi in virtù della sua gravità e dell'urto al pari dell'acqua (579), ed eziandio in causa della tensione, di cui è dotata. La tensione però, per essere portata ad un grado superiore alla pressione atmosferica, richiede sempre la forza necessaria al condensamento da cui dipende (§. 606).

La gravità o la pressione dell'atmosfera si è applicata da pochi anni come motore dei convogli sopra le strade ferrate. Per avere un'idea di quest'applicazione, imaginiamo disteso lungo il mezzo di una simile strada un tubo, in cui possa essere mosso uno stantuffo.

La pressione atmosferica agirà egualmente da un lato e dall'altro di questo stantuffo, il quale non concepirà quindi verun movimento. Ma se da una parte si levi l'aria, la pressione atmosferica dalla parte opposta lo sospingerà e lo farà movere entro il tubo; talchè, se è congiunto con una fune a cui sia attaccato un convoglio di carri e di vagoni, questi concepiranno un movimento sulle rotaie di ferro e trascorreranno la strada con una velocità eguale a quella dello stantuffo. La forza con cui è spinto lo stantuffo dipende dal grado di rarefazione dell'aria, e riuscirà sempre minore d'un chilogrammo per ogni centimetro quadrato di superficie premuta (§. 595), perchè è difficile fare il vuoto perfetto. Il manometro infatti, congiunto al tubo della strada ferrata costrutta per prova in Inghilterra, segnava ordinariamente 26 in 24 centimetri, vale a dire che rimanevano soltanto i due terzi dell'intera pressione dell'atmosfera, ossia circa chilogrammi 0,69 per ogni centimetro quadrato di superficie. Lo stantuffo aveva il diametro di centimetri 38,1, e quindi la superficie premuta era di centimetri quadrati 1140, sui quali si ha un'impulsione di chilogrammi 787: forza più che sufficiente a movere sopra rotaie orizzontali un grande convoglio. La maggiore difficoltà però s'incontra nel congiungere il convoglio collo stantuffo; giacchè la fune, da noi supposta per dar l'idea dell'applicazione del peso dell'aria come forza motrice, non sarebbe attuabile nella pratica. Noi abbiamo fatto conoscere in altro scritto questo sistema di strada ferrata (1), e l'abbiamo analizzato nei suoi vantaggi ed inconvenienti in confronto delle strade ferrate percorse colle locomotive (2), facendo anche conoscere diverse maniere proposte dappoi per migliorarlo (3).

680. In una scuola la facoltà motrice dell'aria, in virtù del suo peso, si mostra per mezzo della *fontana di pressione*. Essa si compone d'un recipiente di vetro AB dell'altezza di parecchi decimetri (fig. 246), munito inferiormente d'una viera d'ottone con una chia-

(1) Si veggano gli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, dove si fa conoscere anche con figure la strada ferrata ad impulsione atmosferica, tom. I, pag. 56, e tom. XV, pag. 331.

(2) Si veggano gli stessi *Annali* tom. XX, pag. 325; tom. XXI, pag. 104, 222 e 320; e tom. XXII, pag. 102 e 215.

(3) Si veggano i detti *Annali*, tom. XV, pag. 532; tom. XVIII, pag. 111 e 112; tom. XIX, pag. 215; tom. XXIII, pag. 106 e 214; tom. XXIV, pag. 202, e tom. XXVII, pag. 329

vetta C. Pel centro del fondo passa un tubo *ab*, terminato inferiormente a vite per unirlo alla machina pneumatica, colla quale si fa il vuoto e poscia si chiude colla chiavetta C. Pel piedestallo d'ottone D, che si congiunge a vite colla viera, si colloca la fontana in un bacinetto contenente dell'acqua e si apre la chiave. Il liquido zampilla pel tubo *ab* nello spazio vuoto del recipiente in virtù della pressione dell'aria esterna.

Si è gia veduto d'altronde la pressione dell'aria agire come motore nella tromba aspirante (§. 569). In ogni caso la forza motrice è misurata dall'altezza del mercurio nel barometro.

681. Nei bastimenti a vela (§. 270) e nei mulini a vento (§. 271) si hanno esempi di movimento, prodotto dall'urto dell'aria, i quali non sono meno grandiosi di quelli, che presentano in somigliante maniera i liquidi (§ 480). L'urto del vento cresce in ragione del quadrato della velocità; talchè un vento, che acquisti una tripla velocità, produce contro la medesima superficie un urto 9 volte più grande. La ragione per cui l'urto d'un fluido aeriforme, al pari di un liquido (§. 585), cresce in ragione del quadrato e non della semplice velocità, si è che là dove la velocità si trova, p. e., 3 volte maggiore vi trascorre nell'egual tempo una tripla quantità di fluido urtante, per cui, riuscendo tripla la massa e la velocità, la forza d'impulsione risulta 9 volte maggiore (§. 223). La forza del vento cresce in ragione della superficie urtata, e contro un'area, p. e. di doppia estensione, l'urto riesce doppio. Si osservi però che Borda ed Hutton hanno trovato che per le grandi superficie l'urto cresce un poco di più di quanto darebbe la ragion diretta delle superficie medesime.

Per valutare la forza del vento contro una data superficie importa di conoscerne la velocità. Alcuni fisici hanno osservato la velocità del vento notando lo spazio che descrivono in un dato tempo corpi poco pesanti, come piume, fiocchetti di bambagia, ed altri simili galleggianti nell'aria; altri hanno cercato di dedurla dall'andamento sulla terra dell'ombra delle nubi in moto; alcuni determinando lo spazio percorso dalle nubi medesime in un dato tempo; inoltre si sono disposti apparecchi appositi per riconoscer in un colla direzione del vento la velocità. Dei venti impetuosi degli oragani e delle bufere si può valutare la velocità deducendola dalla forza necessaria da essi impiegata a produrre qualcheduno degli effetti meccanici osservati. L'incertezza, che lasciano i metodi per la stima della velocità, ha condotto a risultati diversi: così evidentemente è troppo

piccola la velocità d'un impetuoso vento temporalesco valutata da Mariotte, che non la crede di più di metri 10,39 (piedi francesi 32) per secondo; si approssima di più al vero quella determinata da Derham nelle stesse circostanze, dal quale è portata a metri 24,70 (piedi inglesi 81). Secondo le osservazioni di Wolmann la velocità media d'un impetuoso vento temporalesco nelle nostre zone può essere da 23 a 26 metri (da 70 a 80 piedi francesi). La velocità di quasi metri 49 (piedi francesi 150) che secondo alcuni possono avere i venti oraganosi meridionali, non si accorda con quella di Rochan (1), che le dà per massimo metri 195 (piedi francesi 600). Le determinazioni più conosciute della velocità del vento sono quelle riferite da Smeaton (2), ch'egli dedusse dalle osservazioni istituite da un certo Rouse. Egli alle velocità aggiunge la forza corrispondente del vento sopra un piede quadrato inglese, espresse quelle in piedi inglesi per secondo e questa in libbre inglesi *avoir-du-poid*; che noi riportiamo ridotte in misure metriche sopra un decimetro quadrato:

VELOCITA' E FORZA DEI VENTI.

SOPRA UN DECIMETRO QUADRATO.

Denominazione del vento.		*Velocità.*	*Forza.*
		Metri.	Grammi.
Vento appena sensibile		0,448	0,244
Vento sensibile	1° grado.	0,893	0,976
	2° grado.	1,353	2,148
Vento aggradevole	1° grado	1,789	3,857
	2° grado	2,234	6,006
Vento vivamente aggradevole	1° grado	4,471	24,023
	2° grado	6,706	54,053
Vento molto vivace	1° grado	8,943	96,094
	2° grado	11,177	150,146
Vento forte	1° grado	13,414	216,259
	2° grado	15,648	294,286

(1) L'opinione di questo autore è fondata sull'impetuosa bufera scoppiata nel 1771 nell'isola di Francia, nella quale il barometro si abbassò di 56 millimetri. Del resto egli valuta la velocità dei venti impetuosi di più di metri 49 (piedi francesi 152).

(2) *Transazioni filosofiche della Società reale di Londra*. Volume del 1759, pag. 165.

Vento assai forte	1° grado	17,886	384,422
	2° grado	20,120	486,472
Vento tempestoso		22,357	600,584
Vento tempestoso gagliardo		26,828	958,858
Vento oraganoso		35,771	1537,593
Vento oraganoso il più forte		44,714	2402,337

Chiamando a la superficie in metri quadrati urtata dal vento, v la velocità in metri, si ha la forza espressa in grammi dall'equazione $f=120,5.\ av^2$, dove il coefficiente costante è stato determinato coi dati esposti nel quadro precedente. Che se è nota la forza del vento in grammi, si avrà la velocità dell'equazione $v=0,91\sqrt{\frac{f}{a}}$. Analizzando qualche effetto prodotto dal vento e deducendo la forza f, si potrà avere da quest'ultima formola la velocità del vento medesimo; il qual metodo come si disse, è stato posto in pratica da qualche fisico.

Abbiamo altrove mostrato come si trova la parte di forza operativa, quando l'urto del vento non si fa nella direzione del movimento (§§. 270 e 271); ora aggiungiamo che la forza, che mette in moto un mulino a vento, si può esprimere nell'unità dinamica, con cui si è valutato il lavoro degli animali (§. 198). Le osservazioni fatte sui mulini a vento danno per medio risultato del momento dinamico 3108, ossia essi sono capaci di sollevare 3108 chilogrammi all'altezza d'un chilometro; il che dà un lavoro maggiore di quello di 45 uomini (§. 215, n° 4).

682. Allo scopo di determinare la forza dell'urto dell'aria contro i corpi, si può procedere in un modo inverso del precedente, facendoli cioè movere con una data velocità nell'aria in quiete; nella stessa maniera che si fa movere quel trastullo della fanciullezza detto cervovolante (§. 271). Qualche fisico si è servito appunto di questo metodo per valutare la resistenza dell'aria, e quella dei liquidi (§. 585). In tal modo si è pure trovato che la resistenza dei mezzi è in ragione del quadrato della velocità e dell'area delle superficie urtate. L'esperienza inoltre prova che, di due corpi moventisi con l'egual velocità iniziale ed urtando l'aria coll'egual superficie, il meno denso è di più ritardato di quello dotato di maggior densità, come si è altrove dimostrato (§. 586). Nelle scuole si suole rendere palese col *molinello* l'influenza della grandezza delle superficie. Esso è fatto di una ruota munita di palette od ale di

sottile lamina d'ottone, le quali si possono inclinare sotto qualunque angolo od anche mettere in posizione tale che nella rotazione fendano l'aria. S'imprime al molinello un moto di rotazione per mezzo d'un peso o d'una molletta. Disponendo le ale in modo che vadino ad urtare colla loro parte piatta normalmente l'aria, si trova che il moto è rallentato, quando la machinetta si muove nell'aria, mentre il rallentamento è minore quando il moto succede sotto il recipiente pneumatico, dove sia stata rarefatta l'aria. Parimenti si ha un movimento più celere quando le palette del molinello fendono l'aria, di quando la urtano di piatto. Su questo principio si costruiva per lo passato il moderatore del moto degli orologi, o il regolatore della forza acceleratrice della gravità o della molla, da cui sono mossi. Nei *menarosti* anche oggidì si rende uniforme il moto prodotto da una forza acceleratrice con l'applicazione d'un tal principio.

Ora comprenderemo come nella caduta d'un corpo sollecitato dalla forza acceleratrice della gravità deve essere diminuito l'acceleramento (§. 246) e cambiarsi ben anche in moto uniforme, e come i projettili lanciati dalle artiglierie cambiano la forma della trajettoria, che dovrebbero descrivere senza l'opposizione dell'aria (§. 383). Parimenti è per tale resistenza che l'aëreonauta staccandosi dal pallone discende a terra senza alcun danno col paracadute (§. 656). I razzi, che nei fuochi d'artificio sono lanciati nell'alto dell'atmosfera, soffrono un ritardamento non solo per la gravità, ma eziandio per la resistenza dell'aria. Infine diremo che i convogli, mossi dalla locomotiva sulle strade ferrate, devono provare una resistenza proporzionale al quadrato della velocità ed alla grandezza delle superficie urtate. Quando il convoglio ha la velocità di 65 in 70 chilometri all'ora, il che porta 18 in 19 metri al secondo, la resistenza risulterà di chilog. 43, 5, cioè quasi quarantaquattro chilogrammi per ogni metro quadrato, come si ricava dalla precedente formola. Se quindi tutto il convoglio presenta all'urto dell'aria 4 metri quadrati di superficie, la resistenza risulterebbe di quasi 176 chilogrammi. Egli è per tal ragione che nella valutazione dell'attrito sulle strade ferrate importa di tener conto della resistenza dell'aria, quando il convoglio si muove con grande velocità (§ 495).

683. L'aria si presenta come motore eziandio per la sua elasticità al pari di qualunque altro gas. Primieramente diremo che l'aria compressa in recipienti si è proposta (1) per essere sostituita al vapore

(1) Vedi *Annali* suddetti T. XXVI, pag. 81; T. XVIII, pag. 185 e T. XXIII, pag. 219.

delle locomotive per le strade ferrate. Nelle scuole l'elasticità dell'aria adoprata come forza motrice si osserva nella *fontana di compressione*. Consiste quest'apparato in un robusto vaso di rame A, alla cui apertura è assicurato a vite il tubo *ab* fornito di chiavetta, che giunge sin quasi a toccare il fondo (fig. 247). Nel vaso si contiene dell'acqua, e vi si condensa con una siringa l'aria, che occupa la parte superiore del vaso e preme sulla superficie del liquido per la tensione acquistata nel condensamento, spingendolo con forza fuori pel tubo in forma di zampillo. La tromba per gli incendi agisce nell'egual modo (§. 573).

L'archibugio, conosciuto sotto il nome di *fucile a vento*, espelle come nella fontana di compressione la palla in virtù dell'elasticità dell'aria condensata. Il calcio A è cavo e fatto di robusta lamina di ferro (fig. 248), munito della valvola conica *a*, che si apre internamente. La canna dell'archibugio si unisce a vite al calcio, onde poter esser levata per applicarvi pure a vite la siringa BC, colla quale si condensa l'aria nel calcio. In *h* vi hà il foro per cui l'aria da essere injettata entra nella siringa (§. 604). L'archibugio può essere caricato facendo muovere la siringa con una leva, onde avere abbastanza forza per vincere la tensione dell'aria già in parte condensata nel calcio, aprire la valvola *a* ed aumentare la condensazione. Quando il fucile è carico, si leva la siringa e si pone al suo posto la canna. Alla parte sporgente del calcio vi è congiunta una robusta molla ritenuta da un cane, la quale, quando si fa scattare, urta il braccio d'una leva, che coll'altro braccio percuote lo stelo della valvola *a* e la apre lasciando scappare un soffio dell'aria condensata nel calcio. Questo soffio d'aria condensata, entrando nello spazio della canna, si espande con una veemenza proporzionale alla sua densità, urta la palla e la espelle con impeto fuori della canna.

Eulero ha fatto scopo dell'analisi matematica la forza d'impulsione dell'aria condensata nel fucile a vento, ed ha trovato la velocità con cui viene espulsa la palla espressa da $v=\sqrt{\left(\frac{6907,75\,mb}{nd}\,.\,\log.\frac{a}{b}\right)}$, da cui si ha in piedi del Reno la velocità v, essendo a la lunghezza della corsa del fluido, ossia la distanza del fondo del calcio all'estremità della canna; b la lunghezza del calcio dove vi ha l'aria compressa; d il diametro del proiettile; n il peso specifico dello stesso proiettile per rapporto all'acqua, m il grado di condensamento dell'aria in con-

fronto di quella atmosferica allo stato naturale (1). Siccome il piede del Reno è eguale a metri 0,313854; così si ha per valutare la velocità della palla in metri la formola $v=\sqrt{\left(\frac{680,41.mb}{nd}.\log.\frac{a}{b}\right)}$. Da cui si apprende che il quadrato della velocità del proiettile è in ragion diretta del logaritmo del rapporto $\frac{a}{b}$. Per dare un esempio dell'applicazione della formola, sia $a=1^{m},40$; $b=0,30$; il diametro della palla $d=0,01$; la densità della palla $n=11,30$, e il condensamento dell'aria $m=8$. Sostituendo questi valori si ha

$$v=\sqrt{\left(\frac{680,41\times 2,40}{0,113}.\log.\frac{14}{3}\right)} \text{ da cui si ottiene } v=98^{m},32;$$

vale a dire che il fucile, essendo caricato soltanto ad 8 atmosfere, lancerebbe la palla colla velocità iniziale di metri 98.32 per secondo.

Nell'uso della formola è necessario di conoscere ad ogni carica del fucile il grado m di condensazione. I metodi ordinarii altrove insegnati (§. 607 e seguenti) non si prestano in questo caso, non potendosi al calcio applicare nè manometro, nè valvola con leva per misurare la tensione dell'aria condensata. D'altronde non vale, come fanno alcuni, il desumere il grado di condensazione dal numero dei colpi dello stantuffo, come aveva fatto Galilei nell'infanzia della scienza (§. 589). In mancanza d'ogni altra valutazione giova però conoscere il numero dei colpi, potendosi d'altronde ritenere che nel secondo centinaio, dato da un uomo robusto, la quantità d'aria iniettata sta a quella introdotta nel primo centinaio come 8:11, e che se si proseguisse l'iniezione con un altro centinaio di colpi non s'arriverebbe ad introdurre una quantità d'aria eguale alla metà di quella entrata nel secondo centinaio di colpi. La maniera più sicura di valutare la condensazione è di pesare esattamente il calcio pieno d'aria allo stato naturale, e dopo un certo numero di colpi pesarlo di nuovo per riconoscere dall'aumento di peso la quantità d'aria iniettata. Conoscendo la capacità del calcio e sapendo che un decimetro cubico d'aria alla densità ordinaria pesa grammi 1,3 (§. 617), si dedurrà facilmente il grado di condensazione.

Quando l'archibugio è carico a 10 in 12 atmosfere, si possono ti-

(1) *Neue Grundsätze der Artillerie von Robins*, tradotti con parecchie annotazioni ed aggiunte da Eulero. Berlino 1745, pag. 422.

rare 9 in 10 colpi consecutivi senza iniettare nuov'aria. Alla distanza di 8 in 9 metri si trapassa un asse di larice della grossezza di 3 in 4 centimetri. I colpi seguenti sono meno efficaci, ma hanno ancora abbastanza impeto da produrre effetti non inferiori a quelli d'un fucile ordinario. La carica si porta talvolta a 18 ed anche a venti atmosfere, e vi ha chi l'ha portata sino a 36. L'aria condensata in questo apparato, quando è ben costrutto, si può tenere compressa per molto tempo, e la si è tenuta infatti per 14 anni senza che sia scemata la sua forza elastica come succede d'una molla d'acciaio ed altro corpo consimile, che tenuto a lungo compresso perde del proprio elaterio.

684. L'aria si condensa anche con colonne d'acqua per mettere in movimento colla sua elasticità altro liquido o l'acqua. La *fontana di Erone* è un apparato di questa specie, il quale consiste in due vasi A,B (fig. 249) le cui capacità sono in comunicazione mediante il tubo *ab*, che nel vaso superiore B s'innalza sino quasi a toccarne il coperchio. Su quest'ultimo vaso havvi all'ingiro una parete solida, che forma una specie di catinella, di cui il coperchio dello stesso vaso è il fondo. La catinella è in comunicazione col vaso inferiore A mediante il tubo *cd*, che attraversa il vaso superiore B e va quasi a contatto col fondo del vaso inferiore A. Nel centro del coperchio del vaso B vi ha adattato a vite il tubo *ef*, che ne tocca quasi il fondo ed è munito superiormente d'una chiavetta.

Si mette in azione l'apparato riempiendo il vaso B di qualche liquido, per es. di vino, e si versa nella catinella un liquido qualunque, per es. dell'acqua: questa pel tubo *cd* discende nel vaso inferiore A e ben presto, innalzandosi sul fondo, chiude l'apertura *d* del tubo medesimo. Entrando nuov'acqua, s'innalza il livello nel vaso A e restringe in minore spazio l'aria, la quale pel tubo *ab* condensa egualmente l'altra contenuta nel vaso superiore B. In tal modo si aumenta la tensione in quest'aria, per la quale preme sulla superficie del vino nello stesso vaso B e l'obbliga così a zampillare pel tubo *ef* una volta che ne sia aperta la chiavetta. La tensione esercitata sul liquido zampillante è misurata dall'altezza della colonna d'acqua nel tubo *dc* sul livello del vaso A.

Un'altra fontana di Erone è rappresentata nella fig. 250, di cui si comprende facilmente il modo d'azione dalla semplice ispezione della figura medesima. L'apparecchio di Erone è stato applicato alla costruzione d'una lucerna a livello costante.

685. La *fontana intermittente* è un apparato, nel quale si sospende l'efflusso d'un liquido a dati intervalli col diminuire la tensione

dell'aria interna, che preme sulla superficie del liquido contenuto nel vaso, e col far prevalere così la pressione esterna dell'atmosfera sul foro dell'efflusso, che ne impedisce l'uscita. Il vaso V è un serbatoio d'acqua (fig. 251), al quale sono connessi i tubetti *t* per lo scolo posti all'intorno del vaso medesimo. Il tubo T s'interna nel serbatoio e s'innalza al di sopra del livello dell'acqua. Questo tubo è saldamente assicurato ad un basamento B, la cui parte inferiore ha all'ingiro un orlo rilevato e forma una capacità C, che coi piedi *p*, si appoggia sopra una catinella AA. Sul fondo della capacità C è praticato un piccolo foro *d* pel quale comunica colla catinella. Il tubo T si prolunga attraverso il basamento B sino quasi a toccare il fondo della capacità C.

Si aprono i tubetti *t,t,t* per mettere in azione l'apparato: l'acqua sgorga per essi e cade nella sottoposta capacità C, e lo scolo succede sinchè la pressione esterna dell'atmosfera è equilibrata dalla tensione dell'aria contenuta nel vaso V. A misura che, nell'uscita dell'acqua, si abbassa il livello, l'aria nel vaso V si rarefà, ma è istantaneamente portata alla primitiva densità per la nuov'aria che entra pel tubo T. Una volta però che il liquido siasi innalzato sul fondo della capacità C ed abbia chiuso l'apertura inferiore del tubo T, l'entrata dell'aria è impedita dal liquido medesimo, il quale vien elevato nel tubo e si oppone da questa parte alla pressione atmosferica, che non può essere per intero bilanciata dalla diminuita tensione dell'aria in causa della rarefazione. Quando questa colonna liquida nel tubo T eguaglia l'altezza dell'acqua nel vaso sul foro degli orifizi dei tubetti *t,t,t*; allora la pressione atmosferica vince e sostiene il peso delle colonnette liquide nel tubetti medesimi, e l'efflusso a questo punto viene arrestato. Intanto l'acqua pel foro *d* passa dalla capacità C nella sottoposta catinella AA, e l'estremità inferiore del tubo T vien ben presto demersa dall'acqua e lasciata libera la sua apertura. A quest'altro punto entra pel tubo T nuov'aria; la quale rimette quella interna del vaso V alla densità ordinaria, ed allora incomincia di nuovo l'efflusso pei tubetti *t*. Per quest'efflusso l'acqua si rialza come prima nella capacità C, ascende pel tubo T e produce una seconda intermittenza nello scolo; e così se ne ha una terza, una quarta ecc., sinchè vi ha acqua nel vaso V.

Il piccolo serbatoio di vetro (fig. 252), che in alcuni luoghi si applica alle gabbie ove si tengono chiusi degli uccelli, dipende dallo stesso principio della fontana intermittente. Esso ha soltanto una

piccolissima apertura *a* per mettere in comunicazione l'abbeveratoio *b* col serbatoio propriamente detto C. L'acqua è elevata ad un livello *xy* molto superiore a quello *mn* dell'abbeveratoio; In causa d'essere l'aria interna in istato di rarefazione per cui rimane una parte della pressione atmosferica esterna per equilibrare la colonna di quel liquido. Questo non può discendere, se non quando il livello in *mn* è così basso per lasciar adito all'aria lungo il condotto *a* e passare ad accrescere la tensione di quella disposta superiormente nel serbatoio C.

Sul medesimo principio si costruiscono dei calamai assai comodi, nei quali si conserva l'inchiostro per essere piccola la superficie esposta all'aria. Nella maggior parte delle lucerne ad olio si sostiene in egual maniera l'olio dentro il serbatoio collocato al disopra della fiamma. Il recipiente, contenente l'olio, è rivolto coll' apertura verso il basso dentro un altro recipiente, dove si trova dell'olio ad un livello presso che eguale a quello del lucignolo. A misura che quest'ultimo è consumato dalla combustione, passano delle bolle d'aria nel recipiente interno, donde discende nuov'olio ad alimentare la fiamma, e così il livello del liquido si mantiene pressochè costante.

S'incontrano in natura delle fontane, che sono intermittenti come quella artifiziale precedente, e pare che dipendano dallo stesso principio. È celebre la sorgente situata poco lungi dal lago di Como, di cui parla Plinio e le cui acque calano e crescono tre volte in un giorno.

Nel così detto *imbuto magico* si rende intermittente lo scolo del liquido secondo la volontà dell'operatore. Esso è eguale ad un imbuto ordinario, eccetto che è fatto d'una doppia parete, dove si comprende una capacità formata di una zona conica aperta all'estremità del cannello per una zona circolare angusta, e chiusa tutt' all' intorno superiormente da una lamina munita d' un piccolo foro, che l' operatore può chiudere col dito. Introducendo nella zona conica un liquido, esso non può effluire per la zona circolare del cannello se si tiene chiuso il foro superiore; e tosto incomincia l'efflusso se si apre il foro medesimo, che si può interrompere a piacimento. Nel primo caso, esercitandosi la pressione atmosferica soltanto sull'apertura d'erogazione, il liquido non può uscire; ma una volta che sia aperto il foro superiore, le due pressioni si equilibrano, e il liquido cade pel suo peso. Gli si è dato il nome di magico, perchè i giocolatori sogliono sorprendere il volgo facendo versare nel vano dell'imbuto un liquido, per es. l' acqua; mentre, aprendo il foro, lasciano uscire l' altro, il

vino, nascosto nella zona conica della doppia parete. La costruzione dell'*anaffiatoio magico* è fatta come quella dell'imbuto precedente.

686. Il vaso A, che contiene in parte dell'acqua ed in parte dell'aria allo stato naturale (fig. 247), si collochi sotto il recipiente della macchina pneumatica: facendo il vuoto, si leva parte della pressione atmosferica e la tensione dell'aria interna preme sulla superficie dell'acqua e la espelle pel tubo in zampillo. Disposto in tal maniera l'apparato per mettere in moto un liquido colla tensione dell'aria, esso prende il nome di *fontana di rarefazione*; la quale conserva lo stesso nome anche quando si mette in azione la forza elastica mediante l'azione del fuoco, come vedremo parlando del calorico.

Si può trovare un'espressione generale dalla forza elastica, che preme sull'acqua nella fontana di compressione (§. 683), dove l'aria venga anche elevata ad una data temperatura. Si chiami f l'elasticità dell'aria alla densità 1 ed alla temperatura zero. Quest'elasticità primitiva portata dalla temperatura t a quella zero avrebbe dovuto scemare nel rapporto inverso dei volumi 1 ed $1+ct$ per la medesima massa d'aria (§. 606), dove c è il coefficiente di dilatazione. E quando l'accrescimento di volume per l'aumento t di temperatura ha effettivamente luogo, la forza elastica rimane ancora la medesima, quantunque sia scemata la densità, perchè tanto è aumentata per l'accrescimento di temperatura, quanto è diminuita per lo scemamento della densità. Ma se l'aria è rinchiusa in uno spazio, lo scemamento della densità non può aver luogo e quindi l'accrescimento di temperatura produrrà realmente in tal caso l'aumento d'elasticità, e si avrà quindi la tensione $x=(1+ct)f$. Che se l'aria, indipendentemente dalla temperatura, acquisti invece della densità 1 quella d, allora la tensione, essendo in ragione della densità, diventa $x=(1+ct)fd$, formola da cui si ottiene la tensione x per l'accrescimento della temperatura t e per la condensazione d, conosciuta quella f a zero gradi del termometro ed alla densità 1, la quale sappiamo essere equivalente a 760 millimetri.

687. Fra i gas, che per la loro forza elastica sono atti ad ingenerare movimento nella materia ponderabile, dobbiamo rammentare quello prodotto dalla combustione della polvere pirica. La sua azione però è troppo subitanea e violenta per essere adoprata nella meccanica usuale. Essa serve soltanto nelle mine per iscuotere, dividere, e spezzare delle materie pesanti e resistenti, come pure per lanciare proiettili colle artiglierie. Secondo le sperienze di Robins, la forza massima della polvere è equivalente a 1000 atmosfere, e Rumford la

slancia con forza orizzontalmente il tappo di sovero da cui era chiusa, ed una corrente di vapore esce dal foro. Diametralmente opposto a questo foro la tensione del vapore esercita la sua forza, la quale, non essendo più bilanciata, ha il suo effetto, imprimendo all'apparato un movimento in direzione contraria a quello della corrente di vapore uscente dal foro.

689. Si è trovato finora più utile d'impiegare direttamente la forza di tensione del vapor acqueo, la quale in uno spazio chiuso, come in una caldaia di lamine di ferro o di rame, può essere accresciuta indefinitamente coll'aumentare la temperatura, come si deduce dalle sperienze e dalle formole riportate nella precedente sezione (§. 613). La forza del vapor acqueo ha altresì il vantaggio di poter all'istante essere pressochè annientata, iniettando nella massa di vapore uno spruzzo d'acqua gelida, e ciò a differenza della forza elastica del gas, che si sviluppa nella combustione della polvere pirica (§. 687). Egli è appunto per questo che la tensione del vapor acqueo è generalmente impiegata nella meccanica.

In una scuola si suole mostrare l'effetto della tensione del vapore coll'*eolipila* riempiuta in parte d'acqua e con un cannello *ab* che ne tocca quasi il fondo, come nella fig. 247. Ponendo al fuoco questo vaso convenientemente disposto per tali sperimenti, l'acqua passa in vapore, il quale si accumula superiormente premendo con gran forza sulla superficie del liquido. A misura che cresce la temperatura, la tensione diventa sempre maggiore, ed aprendo la chiavetta *c* l'acqua è lanciata pel cannello con forza in un gran getto, che si eleva tanto più quanto più è grande la temperatura. È in tal modo che, in alcune machinette per fare il caffè, l'acqua è innalzata per un tubo laterale e vien a cadere sul caffè in polvere disposto sopra un piccolo cribro, attraverso il quale, impregnata dell'aroma, essa ritorna nella stessa capacità, da cui era stata espulsa dalla forza del vapore.

Dalla forza di tensione, che acquista il vapore colla temperatura, dipendono diversi fenomeni, come l'effervescenza subitanea dei liquidi viscosi, che contengono nel loro interno dell'umidità. Quest'umido, col riscaldamento dei liquidi, è trasformato in vapore, sforza la loro coesione ed acquistata una certa tensione lancia il liquido stesso a distanza con pericolo degli astanti, come succede degli olii e di altri liquidi, che contengono delle esilissime particelle d'acqua frammiste alle loro molecole. Gli artiglieri, che collo spazzatoio inumidito d'acqua rinfrescano il cannone riscaldato dopo parecchi tiri, si sono tro-

vati talvolta respinti con forza dallo spazzatoio stesso lanciato, come un proiettile, dal vapore acqueo formatosi nel pezzo, e ciò con grave pericolo. Per la stessa ragione i fonditori di metallo devono aver cura che non vi sia umidità nella forma, onde non incorrere nel tristo accidente di essere rovinati dal metallo incandescente, che sarebbe lanciato dal vapore generatosi nella forma medesima. I fabbri ferrai sogliono per trastullo fare scoppiare in vapore delle goccie di acqua e produrre l'egual effetto che si avrebbe dalla polvere pirica. Versano sull'incudine qualche goccia d'acqua, su cui appoggiano una lastra rovente che percuotono col martello. L'acqua per questa percossa non può mettersi allo stato sferoidale (§. 100) e si trasforma invece istantaneamente con rumore in fluido elastico. Ed è per la stessa ragione che le castagne, poste sul fuoco, scoppiano con grand' impeto, pel vapore che si forma nel loro interno e ne squarcia la corteccia. Allo scopo d'evitare questi effetti, che potrebbero essere disastrosi, si pratica un taglio nella corteccia, da dove possa sfuggire il vapore. Un trastullo pericoloso è quello di innestare nella candela delle bolle di vetro, che tengono rinchiusa qualche goccia d'alcoole, per farle scoppiare al momento che sono riscaldate dalla fiamma, con meraviglia e si dica pure con *pericolo* degli astanti. Siccome queste bolle di vetro producono degli effetti consimili alle castagne, e siccome furono imaginate all'appoggio della forza del vapore determinata dalla scienza; così gli antichi le chiamarono col nome di *castagne filosofiche*. Le *bombe filosofiche* sono grosse bolle di vetro, nelle quali si è posto, al loro stato di fusione, un pezzetto di legno inumidito. A quella temperatura l'umido passa in vapore, espelle l'aria e al riconsolidarsi del vetro la capacità rimane piena di vapore, il quale nel raffreddamento si trasforma in liquido e lascia un vuoto. Gettando in alto queste bolle di vetro, cadono a terra e s'infrangono, e l'aria si precipita con gran rumore nel vuoto del loro interno (§. 596).

690. Nella prima maniera d'applicare la tensione del vapore, la caldaia A comunicava con un cilindro B, dove era mobile uno stantuffo S come nelle trombe comuni (fig. 254). La comunicazione poteva essere lasciata libera od impedita mediante una chiavetta *a*. Un congegno connesso al movimento della macchina apriva questa comunicazione, e il vapore della caldaia s'introduceva nel cilindro metallico e spingeva lo stantuffo. Giunto questo al termine della sua corsa, lo stesso congegno faceva girare la chiavetta *a* ed intercettava la comunicazione: allora, per l'apertura d'un'altra chiavetta *d*,

uno spruzzo d'acqua gelida s'introduceva nel cilindro da un serbatoio D opportunamente collocato ed annientava la forza elastica del vapore che aveva sospinto lo stantuffo, il quale veniva condotto al posto primitivo dalla pressione opposta dell'atmosfera. Allora ricominciava l'azione della forza di nuovo vapore introdotto nello spazio cilindrico, e lo stantuffo riceveva una seconda impulsione da questo vapore e poscia dall'atmosfera. Continuando in tal maniera a mettere in azione ed a distruggere successivamente con prestezza la forza espansiva del vapore, si genera un moto continuo alternativo nello stantuffo, il cui stelo è connesso al gomito d'un albero ripiegato (§. 456), e produce in questo un moto rotatorio continuo. Lo spruzzo d'acqua gelida era iniettato nel cilindro da una tromba premente, e l'acqua di condensazione con quella iniettata veniva smaltita per un canaletto, che si apriva col girare la chiavetta *b*.

Vennero in seguito le *machine a doppio effetto*, nelle quali il vapore, dopo aver agito da un lato dello stantuffo, passa dalla caldaia all'altro lato per ispingere lo stantuffo medesimo in direzione opposta; e così in questo moto continuo alternativo non vi ha più parte la pressione atmosferica, modo più efficace d'introdurre il vapore ora da un lato ed all'opposto ricevette successivi miglioramenti; sinchè fu portato al punto in cui si trova oggidì, che è comunemente impiegato nelle machine a vapore fisse dell'industria manifatturiera, ed anche in quelle dei battelli e delle locomotive. In alcune di queste machine il vapore, dopo aver agito, si diffonde nell'atmosfera per un condotto che gli vien aperto; in altre viene condensato dall'acqua fredda. Quest'ultime si chiamano *machine a condensazione*.

691. Per comprendere la maniera d'azione delle machine a vapore, bisogna farsi un'idea chiara della *valvola a cassetta*. Il resto è una combinazione di leve, di torni e di altri congegni, di cui è facile intendere l'uffizio alla semplice ispezione della machina, e spetta alla mecanica di mostrarne la disposizione e l'uso. La valvola in discorso è rappresentata in sezione nella fig. 255, unitamente al cilindro ed allo stantuffo, al quale il vapore comunica il moto alternativo. In M,N sono rappresentate le due posizioni diverse dello stantuffo S nel cilindro ABCD per ricevere, secondo la posizione M, il vapore nella parte anteriore, e nell'altra N, il vapore dentro la parte posteriore del cilindro. La valvola *abcd* è munita dello stelo *gh*, che porta il corsoio concavo *h* mosso da un congegno connesso alla machina. Questo corsoio incercetta sempre,

in ambedue le posizioni, la comunicazione fra lo spazio *abcd* e il tubo applicato in *m*, che mette capo nel condotto del fumo del focolare e quindi nell'atmosfera. Nella posizione M il corsoio separa il canaletto *pqr* dalla capacità *abcd* e lo mette in comunicazione col tubo applicato in *m*; nell'altra N separa da questa capacità il canaletto *nst* e lo mette in congiunzione con *m*. Il vapore dalla caldaia transita per un tubo, e pel foro *f* entra nella cassetta *abcd* della valvola. Nella posizione M lo stantuffo S è situato verso il lato BC del cilindro, ed il vapore entrato nella cassetta *abcd* trova adito pel canaletto *nst* ed esercita la sua forza elastica sullo stantuffo spingendolo verso AB; giunto al termine della corsa, il corsoio *h* della valvola *abcd* prende la posizione indicata in N, e il vapore entra pel canaletto *pqr* nel cilindro e sospinge lo stantuffo verso BC. In questo movimento, il vapore, che trovasi dal lato opposto, si dissipa nell'atmosfera pel canaletto *tsnm*. Questi movimenti alternativi dello stantuffo S si succedono senza interruzione e con mirabile regolarità, e per lo stelo FG si trasmettono all'asse ripiegato delle ruote motrici della locomotiva o del battello, oppure della ruota, che mette in azione tutte le parti di una macchina fissa. In ambedue le posizioni le frecce indicano la direzione del vapore che entra nel cilindro a movere lo stantuffo, e che esce dal medesimo versandosi nell'atmosfera dopo aver prodotto l'effetto.

Un'altra valvola a cassetta è stata adottata per parecchie machine a vapore (fig. 256). Vi sono due aperture A, B, alla prima delle quali si applica il tubo del vapore ed alla seconda B il tubo che termini nel condensatore o nell'atmosfera. Un corsoio *m* mette in comunicazione l'apertura A, ora collo spazio sottoposto allo stantuffo ed ora con quello superiore; mentre un somigliante corsoio *n* apre nel medesimo tempo l'adito all'apertura B, ora collo spazio superiore ed ora con quello inferiore allo stantuffo. In tal maniera si produce il moto alternativo nello stantuffo e si lascia libera la via per iscaricarsi al vapore, che ha già operato. Le frecce indicano la direzione del vapore che entra, e di quello che esce dopo aver prodotto l'effetto.

692. Abbiamo detto che le *machine* sono *a semplice effetto* quando lo stantuffo è spinto per un lato dalla forza elastica del vapore, e per l'opposto il moto di retrocessione del medesimo è prodotto dalla pressione atmosferica. Che se il movimento dello stantuffo è cagionato dall'elasticità del vapore condotto consecutivamente ad esercitare la sua azione sopra e sotto lo stantuffo, allora si hanno *le machine a doppio effetto*. Si è veduto altresì quando le *machine* sono a con-

densazione. Ora dobbiamo aggiungere che diconsi *machine ad espansione* quelle, nelle quali s'intercetta il passaggio del vapore dalla caldaia nel cilindro prima che lo stantuffo abbia compiuto la sua corsa, che è proseguita dalla espansibilità o dilatazione del solo vapore introdotto. Nelle *machine senza espansione* il vapore seguita ad agire colla stessa densità, che ha nella caldaia, sino a che lo stantuffo ha compiuto la sua corsa.

Si usano altresì dai mecanici le denominazioni di *machine ad alta pressione* ed *a bassa pressione*. Nelle prime il vapore agisce senza espansione, la forza elastica può essere portata a parecchie atmosfere e la caldaia e tutte le altre parti sono costrutte abbastanza robuste per resistere ad elevate pressioni, mentre le seconde non possono agire che sotto la tensione di poche atmosfere. Nella determinazione del limite d'azione non vi ha accordo fra i diversi autori, che trattano delle machine a vapore; e quelle denominazioni devono ritenersi come espressioni di significato relativo. Le locomotive sono disposte in maniera che non possono agire sotto una tensione maggiore di due e mezzo o al più tre atmosfere. Giunta la forza a questo punto si apre la valvola, che dà sfogo al vapore eccedente.

Si sono fatti anche cannoni a vapore, che lanciavano 60 palle ogni minuto. La palla entra nel vano del pezzo d'artiglieria e subito dopo è seguita da un soffio di vapore, da cui è espulsa con gran forza. Alla prima palla ne succede una seconda, che è pure lanciata da un altro soffio di vapore; e così si succedono i soffi di fluido elastico ai proiettili, per cui si ha una serie non interrotta di tiri in pochissimo tempo. Si esperimentarono altresì archibugi a vapore. I primi potrebbero essere adoprati con vantaggio nelle fortezza per respingere l'assalto, e sulle navi da guerra per impedirne l'arremboggio.

693. La forza delle machine a vapore si misura in cavalli, che è un'unità convenzionale di cui si è altrova discorso (§. 209). Volendo conoscere lo sforzo esercitato dal vapore sullo stantuffo, si chiami s la superficie premuta in centimetri quadrati e p la pressiona in atmosfere sopra un solo centimetro; è chiaro che lo sforzo totale sullo stantuffo risulterà sp. Siccome poi l'atmosfera esterna equilibra un'egual quantità della tensione del vapore; così lo sforzo in chilogrammi sullo stantuffo si riduce ad $s(p-1)1,0333$. Sovente interessa altresì di conoscere la quantità di combustibile consumato dalla machina. Si valuta che le migliori machine a vapore consumano chilogrammi 1,5 di carbon fossile purificato all'ora per ogni cavallo di vapore. Dato il peso sollevato in un certo tempo e la quan-

tità di combustibile consumato, si può esprimerne l'effetto nell'unità dinamica stabilita (§. 198), e confrontarne la spesa con quella che importerebbe quando il lavoro fosse eseguito dagli uomini. In Italia le praterie e i campi di Carditello nel regno delle due Sicilie sono irrigati da una machina a vapore colle acque del Volturno. Essa solleva all'altezza di 25 piedi lineari 500 piedi cubici d'acqua ogni minuto, secondo riferisce Saverio Poli nel suo *Corso di fisica*; ossia, ridotta tale misura alla metrica, indi all'unità mecanica stabilita, quella machina in 24 ore porterebbe 195840 metri cubici d'acqua all'altezza d'un metro, ossia il suo momento dinamico sarebbe di 195840 essendo un metro cubico d'acqua equivalente a 1000 chilogrammi. Quest'effetto equivarrebbe al lavoro di 3626 uomini (§. 215 n°. 4). Paragonando quest'effetto colla quantità di combustibile consumato e valutando anche le spese di costruzione e di manutenzione della machina, la giornata dell'uomo verrebbe a costare circa lire 0,35 italiane.

La forza del vapore acqueo è stata impiegata non solo ad innalzare l'acqua per l'irrigazione, ma a movere il bilanciere nelle zecche per coniare le monete; a lanciare proiettili; a mettere in azione torchi di stamperia, nei quali coll'assistenza di 4 ragazzi si tirano 60 copie di una gazzetta ogni minuto; a far trascorrere colle locomotive i convogli sulle strade ferrate; a far solcare alle navi le acque; ad imprimere il movimento in parecchie migliaia d'ordigni in una filatura mecanica di cotone ed in molte altre operazioni mecaniche. In tutti questi casi un fuoco eccedente può generare tale quantità di vapore da fare scoppiare la caldaia. Allo scopo di prevenire il pericolo, si sono applicate le valvole di sicurezza, le quali si aprono e danno sfogo al vapore sovrabbondante. È accaduto però più d'una volta d'essere scoppiate delle caldaie munite della valvola di sicurezza. Per evitare questi tristi accidenti, importa di non lasciar a nudo il metallo affinchè non si arroventi, e nel caso di poca quantità d'acqua si generi poscia tutto ad un tratto una gran quantità di vapore; coll'abbondanza d'acqua invece si produce continuo vapore, che porta con sè il calore e lo dissipa successivamente pel foro della valvola nell'atmosfera.

694. Sinora abbiamo considerato i fluidi elastici tanto nel loro moto progressivo, quanto come agenti su altri corpi; ci rimane quindi a dire del loro movimento ondulatorio, che c'interessa di conoscere più di quello dei fluidi liquidi (§. 561) per nascere esso nella trasmissione a distanza della parola e dei suoni. L'immenso Oceano at-

Digitized by Google

mosferico non presenta mai una perfetta quiete in tutte le sue parti, tanto sono le cause che possono disturbare l'equilibrio di molecole così cedevoli e mobili; e l'aria è quindi in migliaia di maniere agitata: ma fra questi moti riescono interessanti per la scienza quelle ondulazioni mediante le quali si comunicano i pensieri colla parola, che ne è il segno, e si trasmettono i suoni all'organo dell'udito.

Quella parte della fisica che si occupa del suono dicesi *acustica*, la quale lo studia al suo nascimento, determina il movimento delle particelle del corpo dove si genera, fa conoscere la maniera con cui si comunica e si diffonde nell'aria circostante e mostra infine come giunge a colpire le membrane dell'organo dell'udito. A questo punto la nostra scienza si arresta, avendo termine le modificazioni delle sostanze ponderabili, ed incominciano i fenomeni dei sentimenti e delle emozioni diverse prodotte nello spirito che spettano ad altra scienza. Nell'acustica dunque non si analizza nè si cerca d'indagare come Achille siasi destato alla guerra nel sentire la marcia fatta suonare da Ulisse; come Terpandro abbia sedato colla musica l'ammutinamento di Sparta; nè come con diverse melodie ed armonie di suoni si eccitano gli uomini alla tristezza ed alla gioia, al furore ed all'ira, al sonno, al coraggio ed al valore.

Il suono consiste in un movimento particolare eccitato in un corpo ponderabile qualunque, ed ha per risultato una sensazione, che proviamo sull'organo dell'udito. Percuotendo con un martello una campana, strisciando con un archetto sopra una corda tesa d'un violino o d'altro simile strumento, soffiando in un clarinetto o in un flauto, si produce un movimento particolare nella massa metallica, nella corda e nell'aria, e ne risulta sull'organo uditorio la sensazione corrispondente. I suoni, in diversi modi generati, prendono nel comune linguaggio dei nomi speciali: tale è il *fragore* del cannone, lo *scoppio* della bomba, lo *squillo* della tromba, il *tintinnio* del campanello, lo *strepito* della percossa, il *mormorio* delle onde, il *sibilo* del vento, il *cigolio* delle ruote, il *ronzio* delle api, il *rumoreggiare* del tuono, il *fracasso* della rottura dei corpi, il *chiasso* d'un tumulto di gente, il *bisbiglio* del parlare piano, il *susurro* di più persone che conversano ed altre simili sensazioni, che proviamo e che sono altrettanti suoni di movimenti prodotti nella materia ponderabile. In generale diremo che il suono può essere generato con quattro azioni meccaniche differenti: I° mediante lo *stropicciamento*, come coll'archetto sulle corde tese del violino e simili, col polpastrello del dito sull'orlo d'un bicchiere; II° mediante la *percossa*, come sulle campane,

sugli anelli, sulle verghe rigide, come pure sulle membrane tese del tamburo, del timballo e simili; III° mediante la *trazione*, come nella chitarra, nell'amandolino; IV° infine mediante la *compressione* dell'aria in un flauto, in un clarinetto, in una tromba, in una canna d'organo e in diversi altri casi. In tutte queste azioni s'induce nei corpi un movimento, che importa di studiare. Nell'acustica dunque dobbiamo distinguere: 1° il *corpo sonoro*; 2° il *mezzo con cui il suono viene trasmesso*; 3° l'*organo uditorio* od *acustico* che lo percepisce. Incominceremo ad esaminare il suono sotto i primi due punti, e poscia verremo a considerarlo nell'organo stesso, su cui viene fatta la sensazione.

695. Il movimento particolare per cui un corpo suona è il *vibratorio*, che viene impresso nelle molecole della materia ponderabile con uno dei mezzi superiormente nominati, ed affinchè queste vibrazioni possano aver nascimento è necessario che il corpo sia elastico. Primieramente osserveremo che avvicinando una mano ad un corpo sonante, per esempio ad una campana, ad una corda tesa, nel momento del contatto ci accorgiamo del moto di vibrazione concepito, che non potrebbe aver luogo se il corpo non fosse d'elasticità dotato (§. 170). Al contrario, se in qualche maniera si cerchi di eccitare simili vibrazioni in un corpo molle, come sarebbe una massa qualunque di sego, un gomitolo di bambagia e simili, non si ottiene verun suono e non si hanno segni che siasi eccitato in esso un moto vibratorio. Si comprende quindi come sia appena sensibile il trascorrimento d'una carrozza sopra un terreno molle e paludoso; mentre si ha uno strepito rumoreggiante sopra un suolo lastricato od indurito dal gelo. Parimenti essendo un corpo in attuale vibrazione, si estingue o diminuisce il suono col contatto di materie molli. Una campana coperta di neve cessa ben presto di vibrare e di produrre il rombo dopo la percussione. Ed è per la stessa ragione che il tamburo si copre con un drappo di panno nelle cerimonie funebri, perchè dia un suono cupo e mesto.

Nella scuola si rendono manifeste a numeroso uditorio le vibrazioni del corpo sonante con una *campana di vetro* appesa ad una traversa sostenuta da due piedritti, che si percuote con martelletto di sovero. Ad ogni percuasione le vibrazioni riescono sensibili per gli urti continui e celeri contro una piccola palla di piombo appesa ad un filo ed a contatto con l'orlo della campana. In alcuni di questi apparati vi ha unito una punta a vite, che si accosta opportunamente all'orlo e che è urtata dalla campana, producendosi una

specie di tremito, che mostra la successione rapidissima delle vibrazioni nel corpo sonante. Vedremo in seguito qual celerità debbono avere queste vibrazioni affinchè il suono riesca sensibile all'udito.

696. Il corpo sonante trasmette le vibrazioni all'aria, la quale per una serie di ondulazioni le porta all'orecchio, dove si comunicano ad una membrana tesa detta *timpano* e quindi ai nervi acustici per generare in noi la sensazione del suono.

A dimostrare che l'aria è il mezzo per cui il suono giunge al nostro orecchio, serve la seguente sperienza. Sotto la campana pneumatica avvi una sveglia a scatto collocata sopra un cuscinetto di cotone, onde il suono non si ecciti pel tavolino della machina (fig. 257). Attraverso una scatola a cuoio, che chiude superiormente la campana, passa una verghetta colla quale si fa scattare la molla della sveglia: se non si è estratta l'aria dalla campana, il suono che si produce è sensibilissimo; ma se si fa la stessa sperienza dopo averla estratta, quantunque il martelletto percuota il campanello della sveglia, non si prova veruna sensazione all'orecchio. Introducendo un poco d'aria, il suono incomincia a divenire sensibile e ritorna alla primitiva intensità quando l'aria è interamente restituita nella campana. Per togliere il dubbio che la sveglia perda della facoltà sonora colla privazione dell'aria, si è anche istituita l'esperienza con due campane, l'una più piccola dell'altra. Colla prima si copriva la sveglia e si teneva obbligata al piatto della machina con una traversa, colla seconda campana si racchiudeva l'altra e si estraeva l'aria dall'intervallo compreso fra i due recipienti. Ripetendo in tal modo la prova non si ha verun segno all'orecchio di suoni. Dunque là dove non vi ha materia ponderabile, non vi è trasmissione di suoni.

Da quest'esperienza si apprende eziandio che l'intensità del suono diminuisce colla rarefazione dell'aria; il che si accorda coll'osservazione fatta sopra gli alti monti dove, essendo l'aria molto rarefatta, il colpo d'un'archibugiata produce un rumore molto minore che al piano. Al contrario si è osservato che nella campana dei palombari, dove l'aria è più condensata che d'ordinario (§. 55), il suono riesce molto più intenso che all'aria libera.

Tutti i gas ed i vapori sono dotati al pari dell'aria della proprietà di trasmettere il suono. Introducendo uno di questi fluidi nel recipiente dopo aver levata l'aria, si trova che il suono della sveglia si propaga e riesce sensibile. Si può esperimentare in una maniera più comoda sospendendo, con fili di canapa non torta, un campanello in

un pallone di vetro (fig. 258), e dopo aver levata l'aria il suono non si trasmette all'esterno, mentre la trasmissione ha luogo introducendovi un qualche gas o alcune gocce di liquido che passa in vapore, come alcoole, etere, acqua, ecc.

697. La propagazione del suono per mezzo dell'aria succede con un moto ondulatorio prodotto dalle vibrazioni del corpo, a ciascuna delle quali corrisponde un'ondulazione di lunghezza determinata. Il modo con cui le ondulazioni si formano e si propagano è stato il soggetto dell'analisi matematica ed ha dato luogo a calcoli complicati: noi procureremo di dichiarare quella parte, che può facilitare l'intelligenza dei fenomeni del suono.

Imaginiamo un tubo indefinito TT in cui sia mobile lo stantuffo *ss*, che per una data forza venga portato dalla posizione *ss* alla *aa*, percorrendo, per es., un dato spazio in un secondo di tempo (fig. 259). In questo movimento dello stantuffo, l'aria del tubo ha subito una certa modificazione, il moto si è propagato in essa sino ad una certa distanza determinata dal tempo necessario a percorrerla (§. 230); e quella porzione d'aria si è realmente mossa, perchè, non essendo un corpo duro, essa non ha potuto resistere all'azione della forza ed è stata compressa avanti d'essere il moto trasfuso alla rimanente massa della colonna. Nel tempo dunque di 1" impiegato dallo stantuffo a portarsi da *s* in *a*, il moto si sarà propagato per una certa lunghezza nella colonna aerea, cioè da *aa* in AA, e la porzione d'aria *aa*AA, che ha subito differenti modificazioni, dicesi *onda* od *ondulazione*, la cui lunghezza è la distanza *a*A. — La modificazione provata dall'aria dell'onda è una condensazione; giacchè essa nel tempo di 1" dal volume *ss*AA, che occupava al principio del moto dello stantuffo, ha dovuto restringersi nello spazio *aa*AA. Ciascuno strato inoltre deve aver ricevuto una certa velocità impulsiva, colla quale si è allontanato dal punto dove ha avuto origine l'urto. È chiaro che ogni strato perpendicolare all'asse del tubo non può trovarsi nel medesimo stato tosto che lo stantuffo ha compiuto quel movimento; l'ultimo strato, per es., che tocca AA non avrà ricevuto che una piccolissima velocità e compressione, poichè il movimento giunge in quel momento. Il primo strato d'altronde, quello a contatto con *aa*, sarà già restituito alla quiete essendosi appunto lo stantuffo arrestato in quel punto ed essendosi il moto già comunicato agli strati seguenti, e ciò come s'apprende nella trasfusione del moto dei corpi elastici (§. 475). Gli strati intermedii invece avranno, nello stesso tempo, verso il mezzo dell'onda la maggior compressione e velocità.

Digitized by Google

Quest'ordine delle modificazioni diverse subite dai differenti strati, dipende dall'ordine delle velocità crescenti e decrescenti, per le quali ha dovuto transitare lo stantuffo nel moversi da *ss* in *aa*.

Lasciamo lo stantuffo nella posizione *aa* e prendiamo a considerare le modificazioni, che nel secondo tempo succederanno nelle parti seguenti della colonna d'aria contenuta nel tubo TT. L'aria compressa nello spazio fra *aa* ed AA non può conservare un tale stato; giacchè, essendo il tubo aperto all'estremità, bisogna che dopo un certo tempo l'aria eccedente esca dal tubo e tutta la colonna ritorni alla quiete. Con l'analisi matematica si dimostra che la velocità e la compressione si comunicano successivamente nel modo seguente: nel primo istante del secondo tempo la velocità oltrepassa AA ed invade il primo strato d'aria, che incontra appunto nel momento che lo strato, a combaciamento collo stantuffo, è passato alla quiete; nel secondo istante invade lo strato seguente al primo al di là di AA, mentre il secondo strato posto avanti allo stantuffo cade in quiete; nel terzo istante il movimento arriva al terzo strato seguente al di là di AA e il terzo strato avanti allo stantuffo giunge al riposo; e così il moto prosegue d'istante in istante; talchè al fine del secondo tempo l'aria è in quiete nello spazio da *a* in A ed è agitata da A in B; la lunghezza AB è eguale ad *a*A e le velocità e le compressioni inoltre da A in B sono esattamente eguali a quelle subite da *a* in A. Per tal modo l'ondulazione s'avanza e conserva nelle diverse parti che si succedono la sua lunghezza ed i suoi caratteri. Alla fine del terzo tempo l'onda sarà trasferita nello spazio BC e così andrà progredendo lungo il tubo.

L'onda, che succede in tal modo e si propaga a distanza ed i suoi strati sono *compressi* con *velocità impulsiva*, si chiama *onda condensata*. È facile però comprendere che un ordine inverso di fenomeni si sono sviluppati di dietro allo stantuffo *ss*, mentre è trasportato in *aa*. Infatti uno spazio maggiore è stato presentato alla colonna d'aria il cui primo strato si sarà gettato in questo spazio lasciato dietro di sè dallo stantuffo e si sarà rarefatto; il secondo strato avrà dovuto seguire il primo e prendere il posto di lui e così consecutivamente: talchè dopo il primo secondo di tempo, quando lo stantuffo è giunto in *aa*, la rarefazione nella parte posteriore si sarà propagata sino in A,A'. È in tal modo che si ha l'*onda rarefatta*, la cui lunghezza è eguale a quella dell'onda condensata, che si genera davanti allo stantuffo; le *rarefazioni* sono nulle in *aa*; A'A' e in tutti gli strati, le *velocità* sono *apulsive*, cioè dirette verso il punto d'origine del moto. L'onda rarefatta si propaga pure nell'egual maniera in tutta la colonna d'aria,

conservando la medesima lunghezza e le medesime successioni di velocità e di rarefazioni.

Se lo stantuffo appena giunto in *aa* fa subitamente *ritorno* verso la sua posizione primitiva *ss*, ripassando per gli stessi gradi di velocità, è chiaro che ecciterà dietro di sè a destra di *aa* un'onda rarefatta somigliante a quella eccitata a sinistra durante la sua *andata*. Quest' onda è contigua alla seconda onda condensata; talchè al fine del secondo tempo l'onda condensata sarà compresa fra *A* e*B* e la rarefatta fra *A* ed *a*. Dall'altro lato invece l'onda rarefatta si troverà fra A' e B, e la condensata fra A' ed *a*; dopo un altro movimento d'*andata* ed un altro di *ritorno* dello stantuffo nasceranno ancora delle onde eguali e similmente disposte, che *inseguiranno* le prime e così di seguito. Un orecchio quindi che fosse collocato dall'una o dall'altra estremità del tubo proverebbe la sensazione d'un suono *continuo* più o meno grave, più o meno forte e d'una tempra più o meno aggradevole. Tra il suono della destra e quello della sinistra non vi sarà altra differenza, che nel primo è l'onda condensata che cammina per la prima; mentre nel secondo è l'onda rarefatta.

698. Nell'analisi meccanica del fenomeno abbiamo supposto che le modificazioni dell'aria succedano in un tubo; ma nell'aria libera, a misura che l'ondulazione si estende, il moto si comunica ad un maggior numero di particelle fluide e le agitazioni ed i cambiamenti momentanei di densità devono sempre più indebolirsi man mano che si allontanano dal centro del moto. È appunto ciò che si osserva nell'atmosfera, dove il suono risulta tanto più debole quanto più è distante il luogo dove si produce. Siccome poi da un punto vibrante il suono si propaga tutto all'intorno del medesimo avanti ed indietro, a destra ed a sinistra, al disopra ed al disotto e forma all'ingiro come una sfera d'ondulazioni sonore; così si suol dire che *il suono si propaga per isfera*. Imaginando dal centro di questa sfera condotti dei raggi, che si prolunghino nella direzione delle onde sonore, essi costituiscono altrettanti *raggi fonici* o *sonori*, i quali non si devono concepire che si propaghino nell'egual modo dei raggi luminosi, come ha mostrato Lagrangia e poscia Poisson. L'emanazione per isfera dei raggi fonici è causa della diminuzione dell'intensità dei suoni; e con un ragionamento somigliante a quello fatto per la forza di gravità (§. 125), si dimostra che *l'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato della distanza*. Un suono quindi, prodotto alla superficie terrestre, andrà diminuendo per due cagioni a misura che si diffonde nell'alto

dell'atmosfera, primieramente per la distanza e in secondo luogo per la rarefazione dell'aria (§. 696).

Le onde sonore dell'aria impiegano un certo tempo nel propagarsi, e se a distanza si ascolti un suono nel medesimo tempo che si osserva la causa da cui è prodotto, sappiamo che questa causa ha cessato di agire prima che il suono sia giunto a colpire l'organo acustico. Era naturale quindi che i dotti si occupassero con sperienze dirette ad indagare la velocità del suono per l'aria. Questa velocità si è determinata osservando il tempo che trascorre dall'istante dell'apparizione della luce, nell'infiammazione della polvere d'un pezzo d'artiglieria, a quello in cui per una data distanza giunge all'orecchio il suono prodotto dall'esplosione; giacchè la luce, come vedremo, si diffonde con tanta prestezza che può considerarsi istantanea.

699. Le prime sperienze sulla velocità del suono furono istituite in Italia dagli academici del Cimento nell'anno 1660 in un intervallo di metri 8253 equivalenti a 3 miglia fiorentine (1), e la trovarono di 350 metri per secondo. Bianconi ripigliò fra noi queste indagini nel 1740 sopra una lunghezza di circa 24 chilometri, ed egli fu il primo a scoprire l'influenza della temperatura sulla velocità. Nel trascorso secolo ed al principio del presente, parecchi altri dotti istituirono simili sperienze in Inghilterra, in Francia, in Olanda, in Germania, nell'America. Da tali sperimenti si deducono le conseguenze seguenti:

I. Il suono si propaga con moto uniforme e percorre 340 metri ogni secondo alla temperatura di 16° centesimali.

II. La differenza d'intensità non influisce sulla velocità del suono; e lo stesso vale per riguardo alle diverse sue qualità, diffondendosi egualmente il suono d'una campana e quello d'un flagioletto.

III. Il vento influisce sensibilmente sull'intensità del suono e contribuisce eziandio a variarne la velocità, aumentandosi questa quando il vento soffia nella direzione del suono e diminuendosi quando il vento ha una direzione contraria.

IV. La velocità del suono riflesso eguaglia esattamente quella del suono diretto.

V. L'accrescimento di temperatura del mezzo, da cui è tras-

(1) Si veggano i *Saggi di naturali sperienze fatte nell'academia del Cimento*, edizione pubblicata nell'occasione del terzo congresso italiano. Firenze 1841, pag. 155.

messo, ne aumenta la velocità; così a 10° centesimali essa diventa di 337 metri ed a zero di 331.

Vi è stata questione se il suono conservasse l'egual velocità movendosi per linee che si allontanassero sensibilmente dall'orizzontale, e si è trovato che il movimento del suono conserva le stesse leggi e si muove colla medesima velocità della direzione orizzontale (1).

La velocità del suono, senza riguardo alla temperatura, dovrebbe essere $v=\sqrt{ag}$, in cui g è la gravità (§. 246) ed a l'altezza che dovrebbe avere l'atmosfera supposta di densità uniforme ed eguale a quella della superficie terrestre. Questa formola dà per risultato quasi 280 metri, cioè molto meno dell'esperienza. La formola che dà la velocità pei diversi gradi della temperatura è la seguente: $v=331,35\sqrt{(1+0,003665.\ t)}$. Colla cognizione della velocità del suono si può valutare la distanza d'una nube tempestosa, d'una città assediata o d'un bastimento nemico osservando il tempo che trascorre fra l'apparizione della luce e il rumore del tuono o del colpo di cannone. Si potrebbe, operando nell'egual modo, trovare la larghezza d'un lago, d'un luogo paludoso e simili.

700. Essendo l'aria un corpo elastico per eccellenza, ne conseguita che le onde sonore, incontrando un ostacolo, verranno riflesse facendo l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione (§. 476). Se il raggio fonico costituito da una serie di onde passa da uno in altro mezzo di diversa natura o densità, esso subisce una *riflessione parziale*, ossia in parte vien riflesso e in parte l'onda si trasmette nel nuovo mezzo. Che se il mezzo non è suscettibile di concepire un movimento ondulatorio, allora ha luogo la *riflessione totale*. Quando ha luogo la riflessione totale il suono retrocesso in generale ha maggior intensità di quando essa è soltanto parziale. La riflessione parziale si riscontra quando il raggio fonico per l'aria passa in un ammasso di vapore come una nube: l'onda sonora, alla superficie di separazione, viene in parte riflessa dalla nube e in parte si trasfonde nella nube medesima e il suono sarebbe sentito direttamente da persone che si trovassero immerse nella nube e per riflessione da quelle che fossero in situazione opportuna collocate fuori di essa. La riflessione parziale può accadere eziandio sul piano che divide una massa d'aria da un'altra inegualmente riscaldata. Siccome gli strati dell'aria sovrastante ad una pianura o ad una collina non possono di giorno sotto l'azione dei raggi solari avere l'eguale temperatura, e siccome

(1) Si veggono gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, tom. XVIII, pag. 45.

per tale causa e le circostanze di luogo s'innalzano nelle diverse parti dell'atmosfera diverse quantità di vapore; così si ha di giorno nell'aria una diversa densità od un' eterogeneità, per cui si producono delle riflessioni parziali che indeboliscono il suono diretto. Egli è per queste ragioni che il suono subisce un maggior indebolimento di giorno che di notte, e quindi nel secondo caso si propaga e riesce sensibile a maggiore distanza.

Nei luoghi rinchiusi da pareti il suono ha maggior intensità che all'aria libera, perchè viene rinforzato dai raggi riflessi. Il rinforzamento riesce maggiore quando non vi sieno nè le cortine nè i mobili, perchè le prime estinguono le ondulazioni sonore ed i secondi colle irregolarità delle loro superficie le disperdono in differenti versi. In alcuni teatri si tengono i palchi appunto senza cortine per renderli più favorevoli alla riflessione dei suoni.

701. Se i raggi fonici cadono perpendicolarmente sopra una superficie piana, essi retrocedono per la stessa direzione da cui sono venuti (§. 475); e se la distanza è tale da dar tempo al suono riflesso di non essere confuso col diretto, si ha allora il fenomeno dell'*eco*. *L'eco dunque è un suono riflesso che nella riflessione perde della sua intensità.*

Affinchè succeda l'eco è necessario una certa distanza. Comunemente il nostro orecchio può distinguere non più di 9 suoni in un secondo: per riguardo quindi alla distinzione de' suoni si avrà l'eco se il suono primitivo venga ripetuto almeno dopo $^1/_9$ di secondo. Siccome poi il suono impiega alla temperatura ordinaria 1″ a percorrere 337 metri; così, essendo l'oggetto echeggiante a quella distanza, la ripetizione del suono succederebbe dopo 2″, uno per l'andata e l'altro pel ritorno. Dunque alla distanza di metri $\frac{337}{2}=168,5$ dall'ostacolo si sentirebbe l'eco di 9 suoni distinti consecutivi fatti in 1″; e quindi per l'eco monosillaba si richiederà la distanza di $\frac{168,5}{9}=18,72$ metri dall'oggetto eccheggiante. Affinchè l'eco abbia luogo coi suoni della voce, allora bisogna aver riguardo al tempo necessario per pronunziare una sillaba. L'uomo non può pronunziare distintamente a voce scolpita più di tre sillabe in 1″, per cui è d'uopo che trascorra $^1/_3$ di secondo perchè l'ultimo suono della sillaba pronunziata non si confonda col primo che vien riflesso. Dunque in questo

caso si avrà l'eco monosillaba quando l'oggetto eccheggiante sia almeno distante metri $\frac{337}{6}=56,17$.

Quando la distanza è minore di quelle su notate, allora l'orecchio non distingue il suono riflesso dal diretto, ed invece ne concepisce una sensazione contemporanea: l'uno serve a rinforzare l'altro e dà luogo al *rimbombo*. Quanto è più grande la distanza dell'oggetto eccheggiante tanto riesce maggiore il numero dei suoni riflessi, senza che si confondano con quelli diretti ed ha luogo l'*eco polisillaba* più o meno lunga. A Galbiate, grosso villaggio della Brianza nell'alto Milanese, si riscontra un'eco, la quale ripete due versi endecasillabi come i seguenti:

Intendami chi può, chè m'intend'io,
A rivederci un'altra volta, addio.

Quando vi siano due piani paralleli, la riflessione può ripetersi più volte e dar luogo all'*eco di eco* od all'*eco multipla*. Tali sono quelli della villa Simonetta presso Milano, di Forte Urbano vicino a Castelfranco sulla strada da Modena a Bologna, che sono prodotti da due muri paralleli. La ripetizione del suono succede per un maggior numero di volte quanto più il suono è forte, perchè nell'indebolirsi per le successive riflessioni, non riesce sensibile all'orecchio. Si osservi che di notte, essendo l'aria più umida e meno calda che di giorno, il suono riesce meno veloce e l'eco polissillaba risulta più distinto e quella monosillaba si può avere anche a minore distanza. Lo stesso è d'inverno per rapporto all'estate.

Nelle valli il rumore della scarica d'un archibugio viene ripetuto più volte ad intervalli più o meno grandi secondo la distanza delle rupi echeggianti. Le nubi possono nello stesso modo produrre l'eco con una riflessione parziale del tuono, che rumoreggia nell'alto dell'atmosfera. Si è avuta l'eco eziandio da grandi vele di bastimenti ben tese.

702. Le leggi del suono riflesso sono le stesse di quelle dei corpi elastici: I. l'angolo d'incidenza eguaglia quello di riflessione e sono situati nel medesimo piano; II. la velocità del suono riflesso è la medesima di quella del diretto. Su queste leggi si sono costrutti diversi strumenti utili per gli usi e pei bisogni sociali.

La *cerbotana* è un tubo cilindrico di lunghezza arbitraria (fig. 260), nel quale le onde sonore sono eccitate ad un'estremità e si propagano lungo il medesimo senza spandersi per isfera come succede

all'aria libera (§. 698). Non sarà quindi diminuita l'intensità del suono colla distanza, il quale infatti si ode all'altra estremità come se fosse eccitato in prossimità dell'orecchio. Lo sfregamento dell'aria sulle pareti del tubo non esercita sulla propagazione delle onde un'influenza sensibile, come si riscontra da un'esperienza di Biot istituita in tubi d'acquedotti sopra una colonna d'aria cilindrica di 951 metri di lunghezza. La voce la più bassa era intesa a quella distanza in maniera da distinguere esattamente le parole ed a stabilire una conversazione. Ha cercato di determinare il tuono, cui la voce cessava d'essere sensibile, ma non ha potuto pervenirvi. Le parole dette a voce bassa, come quando si parla all'orecchio, riuscivano sensibili all'estremità opposta; talchè, dice Biot, per non intendersi non vi sarebbe stato che una maniera, quella di non assolutamente parlare.

Questa proprietà è stata applicata nelle grandi abitazioni e nei grandi alberghi per parlare dall'uno all'altro piano senza che gli astanti si accorgano; come pure per dar gli ordini al cocchiere senza moversi dalla carrozza e parlare ad alta voce. Questa maniera di comunicazione potrebbe essere attivata eziandio in parecchi stabilimenti. Ma una delle applicazioni le più importanti sarebbe quella per le corrispondenze a grandi distanze, sostituendo lungo le strade ferrate al telegrafo un *telefono*. In una linea di 200 chilometri, il primo suono della parola impiegherebbe, è vero, quasi 10 minuti primi a giungere dall'una all'altra stazione; ma una volta incominciata la comunicazione le parole si succederebbero senza interruzione e il dispaccio verrebbe trasmesso nell'egual tempo, che si impiegherebbe a leggerlo.

La *tromba stentorea*, detta anche *tromba marina* secondo l'uso cui viene adoprata, è fondata sullo stesso principio della cerbotana. D'ordinario questi apparati hanno la forma di tubo conico (fig. 261) fatto di lamina d'ottone o di vetro. La persona parla all'estremità A, e i raggi fonici sono riflessi dalle pareti ed impediti di diffondersi all'ingiro, e sono così trasmessi riuniti in un fascio per una data direzione a persone lontane. La distanza, cui può essere portata la voce umana con queste trombe, dipende non solo dalla forza con cui si pronunziano le parole; ma ben anche dalla lunghezza della tromba. Infatti con una tromba della lunghezza di metri 1,46 si è fatto sentire la voce alla distanza di metri 1624, e con una di metri 1,68 fu udita alla distanza di metri 4572. Una voce forte d'un

uomo con trombe le più lunghe da metri 3,83 a 7,79 è ancora sensibile alla distanza di metri 5846 (1).

Questi strumenti servono per parlare da un bastimento a persone sulla spiaggia o su altri bastimenti, ed è per ciò che si chiamano anche *trombe marine*, e trombe stentoree dalla gagliarda voce di Stentore di cui parla Omero. La cerbotana e la tromba prendono in generale il nome di *portavoci* o di *telefoni*.

I *cornetti acustici* sono strumenti diretti a concentrare le onde sonore per renderle sensibili a coloro, che hanno l'organo uditorio troppo ottuso e sono sordi ai suoni ordinarii. La forma comune del cornetto acustico è la parabolica (fig. 262), per la cui apertura A tutti i raggi paralleli all'asse si riuniscono nel punto *f*, che è il fuoco della parabola, e pel tubo incurvato *mn* sono condotti nell'orecchio.

Un altro cornetto acustico è rappresentato nella figura 263, il quale, oltre rinforzare il suono colle pareti incurvate, riesce molto comodo per disporne l'apertura a diverse altezze e raccogliere in ogni direzione i raggi sonori, senza che ne varii l'intensità.

703. Dalle leggi del suono riflesso dipende il fenomeno che presentano le stanze di alcuni edifizi, dove una persona, parlando a voce bassa in un punto di esse, è udita da altra persona collocata in diverso punto senza che quelle intermedie ai due punti ne abbiano sentore. In queste sale è spesso per accidente che le volte risultarono atte alla produzione del fenomeno; in qualche caso però si sono costrutte le pareti incurvate secondo le leggi del suono riflesso per ottenere l'effetto. In generale le sale dotate di tale proprietà si chiamano *volte acustiche*, *gabinetti* o *gallerie parlanti*, *gabinetti segreti*. Si sa dalla geometria che le curvature paraboliche e le elittiche hanno la proprietà di radunare i raggi di emanazioni elastiche in un sol punto che è il *fuoco* della curva, per cui le onde sonore nei gabinetti parlanti si concentrano in quel punto della volta e riescono sensibili. Nelle superficie paraboliche i raggi paralleli all'asse si riuniscono nel fuoco della curva; mentre nelle elittiche i raggi emanati da uno dei fuochi si concentrano nell'altro fuoco dell'elisse, e le due persone, che si trovano situate in quei due punti possono parlare fra loro a voce bassa, senza essere udite dalle altre presenti nella sala. Il fenomeno si oserva nella sala dei Giganti del palazzo del Te presso Mantova; sotto il portico della piazza dei Mercanti a Milano; nel coro del Ss. Cosmo e Damiano a Roma; nella sala del palazzo

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, tom. VIII, pag. 466.

Digitized by Google

della cittadella di Piacenza; nella cattedrale di Girgenti in Sicilia; nella galleria della cupola di S. Paolo a Londra, ed in altri edifizi.

Come le onde sonore possano essere concentrate e rinforzate dalle superficie curve a somiglianza dei raggi luminosi in uno specchio concavo, venne osservato da Arnott sopra un bastimento a vela (1). Egli si trovava in alto mare lontano dalle coste del Brasile, quando udì il suono delle campane di S. Salvatore concentrato da una gran vela incurvata, alla distanza di ben 100 miglia inglesi, ossia più di 150 chilometri.

Nei teatri si procura di dare tale curvatura alle pareti della platea che la voce degli attori del palco scenico si propaghi e si diffonda in ogni punto della sala. In generale negli spazii circoscritti da pareti curve è difficile d'evitare la concentrazione del suono, che in alcuni casi può essere svantaggiosa, come è avvenuto nella costruzione del teatro della scuola di chimica a Monaco, dove per togliere una tale concentrazione si dovette tapezzarne le pareti con drappi di lana. Ai gabinetti parlanti appartiene l' *orecchio di Dionigio* o la *grotta della favella* a Siracusa, la quale è una prigione dove quel tiranno racchiudeva gli uomini per esplorarne dai lamenti i pensieri più reconditi. In una scuola si può presentare il fenomeno del concentramento delle onde sonore per riflessione degli specchi concavi, che servono pel calorico irradiente.

704. Il suono si propaga non solo per mezzo dell'aria e degli altri fluidi aeriformi, secondo le leggi dichiarate; ma esso viene trasmesso anche dai fluidi liquidi e dai solidi. Ma avanti di esaminare le leggi ch'esso segue nell'essere propagato dalle ultime due classi di corpi importa che più circonstanziatamente (§. 695) esaminiamo il suono nel corpo in cui nasce indagando la relazione fra le diverse gradazioni e il numero delle vibrazioni da cui è generato.

Le prime indagini di questa specie s'istituirono sulle corde tese, e quando si tocca una corda per agitarla e cavarne un suono, come la corda d'un violino o d'un'arpa, le vibrazioni sono già troppo rapide per poterle contare. Tuttavolta in questo sperimento si presentano due fenomeni distinti: primieramente il suono che ne nasce diventa sempre più acuto a misura che si raccorcia la corda o che maggiormente si tende; in secondo luogo le vibrazioni si fanno sensibilmente più rapide. Da questa ovvia osservazione si apprende di già la dipendenza esistente fra il suono della corda, la sua lunghezza,

(1) Si vegga il *Silliman Amer. Journal*, tom. XIX, pag. 190.

la sua tensione e la rapidità delle vibrazioni o il numero fatto in un dato tempo. I rapporti esatti di questa dipendenza si sono determinati coll'analisi matematica risolvendo il famoso *problema delle corde vibranti*, il quale fu studiato principalmente da Taylor (1) e poscia soggetto di discussioni fra i più distinti geometri del trascorso secolo, quando il nostro Lagrangia ebbe la gloria di togliere ogni difficoltà e di dare compimento alla soluzione (2).

La formola generale che stabilisce una tale relazione è $n^2=\frac{gp}{ml}$, nella quale n rappresenta il numero delle vibrazioni in un secondo, g la gravità (§. 246); p la tensione o il peso da cui è stirata la corda; l la lunghezza, ed m il peso di questa lunghezza della corda. Questa formola si può trasformare in un'altra, dove entri la grossezza o il raggio della corda e la sua densità. Infatti si sa che $m=dv$, essendo d la densità e v il volume (§. 135), e d'altronde per la geometria è $v=\pi r^2 l$, chiamando con r il raggio della corda; perciò la formola diventerà $n^2=\frac{gp}{\pi r^2 l^2 d}$. Da essa si deduce dunque in generale che *i numeri delle vibrazioni di due corde tese stanno in ragion diretta delle radici quadrate delle tensioni ed inversa dei loro raggi o grossezze e delle lunghezze, e delle radici quadrate delle densità.*

Queste relazioni fra gli elementi d'una corda tesa e il numero delle sue vibrazioni nell'egual tempo si possono dimostrare sperimentalmente con un apparato detto *sonometro*, il quale ordinariamente ha la forma d'una cassa oblunga, rappresentata in prospettiva colla figura 264. Ad un'estremità vi sono dei ganci u, a ciascuno dei quali si attacca una corda di metallo o di minugia, che appoggiandosi sopra due ponticelli c, d si distende parallelamente al piano della cassa, e passando sopra la carrucola a si congiunge con un peso p da cui è tesa. Vi ha inoltre un ponticello mobile b che può scorrere sotto ciascuna corda senza toccarla, e serve a determinare quella porzione che deve vibrare.

Si voglia, p. e., provare coll'esperienza che il numero delle vibrazioni è in ragion inversa della lunghezza, talchè riducendo la corda alla metà si avrà un numero doppio di vibrazioni: a tal fine coll'assistenza d'un orecchio esercitato nella musica si tendono due

(1) *Methodus incrementorum directa et inversa*, Londra 1715.
(2) Miscellanee della Società di Torino, 1759.

corde in modo che dieno lo stesso suono; e poscia si avanza il ponticello ed una di esse si riduce alla metà lunghezza, e si trova che così raccorciata, dà un suono che è d'un'ottava più alto dell'altro, il che, come vedremo, richiede un doppio numero di vibrazioni. Parimenti stirando una corda con un peso quadruplo, si trova che dà per suono l'ottava dell'altra, e quindi che il numero delle vibrazioni è pure raddoppiato. Nel primo sperimento colla metà lunghezza si ha doppio numero di vibrazioni, e quindi *il numero delle vibrazioni è in ragion inversa della lunghezza* poste tutte le altre circostanze eguali. Nel secondo sperimento quadrupla tensione, doppio numero di vibrazioni, e quindi *il numero delle vibrazioni in ragion diretta della radice quadrata della tensione.*

705. Per determinare i rapporti delle vibrazioni dei diversi tuoni, che costituiscono la *gamma* o *scala diatonica e cromatica* della nostra musica, è mestieri d'avere uno strumento somigliante al *sonometro* descritto, sul quale s'applica una corda di minugia, ed appellasi quindi *monacordo.*

Sopra un regolo parallelo alla corda sono segnate parecchie divisioni, corrispondentemente alle quali si può accorciare la corda medesima per farne vibrare soltanto una parte. Un suonatore, di flauto p. e., che abbia l'orecchio ben esercitato a distinguere ogni gradazione di suono, trae dallo strumento il tuono *do*, con cui s'accorda esattamente il monacordo stirando più o meno la corda per mezzo del bischero. Ottenuta questa concordanza fra il tuono del flauto e il monacordo, il suonatore ne cava i diversi tuoni della scala diatonica, i quali, come ognun sa, sono: *do, re, mi, fa, sol, la, si, do.* Ora si trova che, per avere dal monacordo eguali suoni a quelli della scala diatonica, bisogna dare alla corda le lunghezze seguenti:

Nome dei tuoni	*do,*	*re,*	*mi,*	*fa,*	*sol,*	*la,*	*si,*	*do.*
Lunghezza della corda . .	1;	$\frac{8}{9}$;	$\frac{4}{5}$;	$\frac{3}{4}$;	$\frac{2}{3}$;	$\frac{3}{5}$;	$\frac{8}{15}$;	$\frac{1}{2}$

Siccome i numeri delle vibrazioni d'una corda, poste eguali tutte le altre circostanze, sono in ragion inversa delle sue lunghezze; così, rappresentando con 1 il numero delle vibrazioni del tuono fondamentale *do* in un qualunque tempuscolo, quelli delle vibrazioni degli altri tuoni saranno come segue:

Nomi dei tuoni	*do,*	*re,*	*mi,*	*fa,*	*sol,*	*la,*	*si,*	*do.*
Numero delle vibrazioni:	1;	$\frac{9}{8}$;	$\frac{5}{4}$;	$\frac{4}{3}$;	$\frac{3}{2}$;	$\frac{5}{3}$;	$\frac{15}{8}$;	2.

La maggior o minor acutezza dei suoni dunque dipende dal numero delle vibrazioni fatte dal corpo in un certo tempo: e la sensazione infatti deve variare secondo che gli urti sull'organo dell'udito si succedono con più o meno prestezza. I tuoni sono più *acuti* o *alti* quanto è maggiore il numero delle vibrazioni compiute in un dato tempo: e tanto più *gravi* o *bassi* quanto è minore il numero delle medesime. Le consonanze fra due tuoni nascono dalla convenienza fra le loro vibrazioni nel colpire il nervo acustico: talchè se queste si fanno in tempi eguali, allora si ha l'*unisono*, che è la consonanza più perfetta. Se il numero delle vibrazioni nello stesso tempo stanno come 1 : 2 si ha l'*ottava*; se come 2 : 3, cioè la seconda vibrazione d'un tuono coincide sempre colla terza dell'altro, si ha la *quinta*; se come 3 : 4, si ha la *quarta*; se come 4 : 5, si ha la *terza maggiore*, se come 5 : 6, *la terza minore*. Questa terza minore s'introduce, quando si vuole una musica flebile, quantunque essa non faccia parte della gamma. La coincidenza più o meno perfetta delle vibrazioni dei due tuoni contemporanei costituisce la *consonanza* e la *dissonanza* nella musica. I tuoni, che meglio sono fra loro consonanti e producono all'orecchio una sensazione aggradevole, sono quelli il cui rapporto è espresso coi numeri i più semplici. Dunque, dopo l'unisono, l'ottava è il miglior tuono consonante; poscia viene la quinta, indi la quarta e la sesta, ed infine la terza. La seconda e la settima riescono disaggradevoli, essendovi in ambidue una coincidenza soltanto ogni 8 vibrazioni del tuono fondamentale. Parecchi suoni contemporanei in consonanza formano l'*armonia*; la quale è ben differente dalla *melodia*, che consiste in più tuoni che si succedono con un certo ordine l'uno all'altro e con intervalli in modo da costituire ciò che chiamasi la *cantilena* o il *motivo musicale*. Il modo di combinare una *musica armonica* dipende dall'arte, la quale si apprende secondo alcune regole che s'insegnano nel *contrappunto*; ma la melodia non s'impara nè dall'arte, nè dallo studio, essa nasce dal genio inventivo, dall'estro musicale del maestro. Nella melodia sta il pensiero musicale, la creazione; mentre l'ufficio dell'armonia è di ornare, di vestire questo pensiero e di renderlo di maggior effetto agli uditori. L'armonia è alla melodia ciò che la parola è all'idea che si vuole esprimere nel comune discorso. La parola non fa altro che adornare l'idea, come l'armonia rende più brillante la melodia. È quindi una questione inutile se sia più pregevole la musica melodiosa di Rossini e di altri maestri in confronto delle studiate combi-

Digitized by Google

nazioni armoniche di Gluck e seguaci, nelle quali la melodia è parte secondaria. Per cui a ragione la signora di Stael le chiamava

Un dotto frastuono — Assorditor di ben costrutti orecchi.

Dividendo il numero delle vibrazioni di ciascun tuono della scala diatonica per quello delle vibrazioni del tuono precedente, si ha la relazione fra ciascun tuono della medesima e quello che immediatamente segue; in tal modo si ottengono i rapporti seguenti:

Il rapporto fra il *do* e il *re*	$\frac{9}{8}$
fra il *re* e il *mi*	$\frac{10}{9}$
fra il *mi* e il *fa*	$\frac{16}{15}$
fra il *fa* e il *sol*	$\frac{9}{8}$
fra il *sol* e il *la*	$\frac{10}{9}$
fra il *la* e il *si*	$\frac{9}{8}$
fra il *si* e il *do*	$\frac{16}{15}$

Ora nella musica il rapporto di $\frac{9}{8}$ si chiama *tuono maggiore*, quello di $\frac{10}{9}$ *tuono minore*, l'altro di $\frac{16}{15}$ *semituono maggiore*, ed inoltre il rapporto di $\frac{25}{24}$ *semituono minore*. Dunque la gamma musicale consiste in tre tuoni maggiori, due tuoni minori e due mezzi tuoni maggiori. Osservasi poi che fra la terza minore *mi* diminuita, che è di $\frac{6}{5}$ per rispetto al tuono fondamentale *do*, e la terza maggiore *mi* $\left(\frac{5}{4}\right)$ vi ha il rapporto $\frac{25}{24}$, il quale esprime un semituono minore. Se quindi si prende per tuono fondamentale un altro diverso dal *do*, p. e. il *sol*, si vedrà che i rapporti cambiano, e che per averli somiglianti a quelli della scala primitiva bisogna innalzare il *fa* d'un mezzo tuono, che si chiama *diesis* e si nota col segno *fa* ♯, ossia moltiplicarlo per $\frac{25}{24}$, come si è trovato col monacordo. Con

questo cambiamento i tuoni del *sol* basso al *sol* ottava procedono del pari a gradi, eccetto che alcuni rapporti invece d'essere d'un tuono maggiore sono d'un tuono minore, il che costituisce nella musica il carattere distintivo del tuono di *sol* in confronto di quello di *do*. Infatti fra *sol* e la sua seconda *la* vi ha il rapporto di $\frac{10}{9}$, ossia d'un tuono minore; mentre fra il *do* e la sua seconda *re* vi ha il rapporto $\frac{9}{8}$, ossia d'un tuono maggiore. In ambidue i casi però sono due tuoni interi. Se invece si prende per tuono fondamentale *fa*, per avere i rapporti della gamma bisogna abbassare il *si* d'un mezzo tuono, che si chiama *bemolle* e si nota col segno *si♭*; ossia moltiplicarlo per $\frac{24}{25}$. In tal modo i suoni procedono dal *si* basso al *si* ottava con somigliante gradazione come nel tuono fondamentale *do*. Siccome poi due tuoni, l'uno dei quali si ha in causa dell'incremento e l'altro della diminuzione della nota prossimamente più acuta della gamma fondamentale, come *do♯* e *re♭*, ed anche *fa♯* e *sol♭*, poco differiscono fra loro nell'uso pratico; così si prendono per lo stesso valore. Perciò vengono a comprendersi in tutta l'ottava 12 tuoni, la cui successione costituisce la *scala cromatica*.

705. Colla scorta delle leggi delle corde vibranti e dei tuoni che ne nascono, sarà facile dar ragione della costruzione degli *strumenti da corda*. In essi si varia tuono 1° colla tensione della corda; 2° colla lunghezza; 3° colla grossezza; 4° colla densità, rivestendo quelle di minugia di fili metallici. Inoltre le corde si distendono sopra *casse armoniche*, affine di rinforzare i tuoni ed averli netti e distinti. In alcuni di questi strumenti la lunghezza della corda è invariabile e ne hanno tante quanti sono i tuoni che devono dare, come nell'*arpa*, e nel *gravicembalo* o *pianoforte*; in altri si raccorcia dal suonatore per avere dalla stessa corda più tuoni e così limitarne il numero, come nel *violino*, nella *chitarra*, e simili; e si sa che il famoso Paganini traeva tutti i tuoni dalla sola quarta corda del violino ed eseguiva su di essa qualunque musica, che per gli altri suonatori si richiedono tutte le quattro corde. Le vibrazioni sono eccitate strisciando sulle corde con setole impecciate, come nel *violino* e nel *contrabbasso*; alle volte vengono prodotte pizzicando le corde colle dita come nell'*arpa*, o con una tacca elastica come nell'*amandolino* e nella *spinetta*; infine battendo sulle corde con martelletti opportunamente congegnati, come nel *gravicembalo*.

Digitized by Google

In alcuni strumenti di questa specie s'incontra un inconveniente nell'accordarli. Per intendere come ciò avviene, notiamo coll'esponente uno $\left(\overline{do}^{1}\right)$ i tuoni della prima ottava, coll'esponente due $\left(\overline{do}^{2}\right)$ quelli della seconda ottava; ed ascendiamo dal $do=1$ alla quinta $s.l=\frac{3}{2}$, come pure alla seconda quinta, la quale sarebbe $\overline{re}^{2}=\frac{3}{2}\times\frac{3}{2}=\frac{9}{4}$, ed alla terza quinta $\overline{la}^{2}=\frac{3}{2}\times\frac{3}{2}\times\frac{3}{2}=\frac{27}{8}$. Ma il $\overline{la}^{2}$ è nello stesso tempo l'ottava della sesta $\overline{la}^{1}=\frac{5}{3}$ per cui si ha anche $\overline{la}^{2}=\frac{5}{3}\times 2=\frac{10}{3}$. I valori, che avrebbe il tuono $\overline{la}^{2}$ considerato come la terza quinta di *do* e come l'ottava di *la* sono $\frac{27}{8}$ e $\frac{10}{3}$, ossia stanno fra loro nel rapporto di 81 : 80 o di $\frac{81}{80}$: 1, e differiscono fra loro di $\frac{1}{80}$, mentre dovrebbero essere eguali. Il *la* dunque acuto accordato come terza quinta del *do* basso e come sesta del *do* ottava, farebbe in un certo tempo 81 vibrazioni nel primo caso e sole 80 nel secondo; questa differenza, detta *comma* nella musica, è sentita dagli orecchi esercitati, e diventerebbe sempre maggiore progredendo di quinta in quinta (1). Dunque non si può il la^2 accordare a giusta quinta col re^2 senza alterare il rapporto che deve avere alla sua ottava bassa la^1; dal che risulta una difficoltà per accordare gli strumenti da corda. Per diminuire tali inconvenienti si sono imaginati alcuni metodi, e si è trovato così un *temperamento* con cui l'armonia non viene a soffrire sensibilmente. Questi metodi convengono in questo, di conservare la giustezza delle ottave, sacrificando qualche cosa nelle altre voci; perchè nell'ottava, per la corrispondenza di vibrazioni, non si può sopportare il minimo difetto di precisione nelle consonanze. Un tal inconveniente s'incontra nel gravicembalo, nella spinetta e negli strumenti forniti di tante corde quanti sono i tuoni, che devono dare; mentre in altri, come nel violino, il suonatore si abitua a

(1) Il rapporto fra il tuono intero maggiore $\frac{9}{8}$ e il tuono intero minore $\frac{10}{9}$ che è di $\frac{81}{80}$, differisce dall'unità o dal tuono fondamentale appunto d'una *comma*.

fare le correzioni opportune portando più o meno avanti il dito sulla corda per limitarne la porzione vibrante.

707. Si può determinare il numero delle vibrazioni corrispondente ad ogni tuono anche colle lamine elastiche. Si prenda una lamina d'un metallo elastico, e la si assicuri per una sua estremità in un morsetto (*fig.* 265). Supponiamo che abbia abbastanza lunghezza, che discostata dalla sua posizione rettilinea faccia delle oscillazioni di tale durata da poterle seguire con l'orecchio e contare, e siano queste 180 in un minuto, il che ne porta 3 per ogni secondo. Ciò posto la si raccorci di tanto sinchè nel suo movimento dia un tuono percettibile all'orecchio, e si misuri esattamente la lunghezza da cui si trae un tal tuono. Dalla legge che nelle lamine elastiche *i numeri delle vibrazioni fatte nel medesimo tempo sono in ragione inversa dei quadrati delle lunghezze*, si avrà quello corrispondente al tuono ottenuto nel raccorciamento. Affinchè i risultamenti siano esatti bisogna che la lamina sia omogenea e d'egual larghezza e grossezza in tutta la sua estensione. Chladni si è servito di questo processo per determinare il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un dato tuono. Egli si serviva d'una lamina d'ottone molto omogenea e d'uniformi dimensioni in tutta la sua lunghezza, che aveva la grossezza di millimetri $2\frac{1}{8}$ (mezza linea) e la larghezza di millimetri 13,5 (mezzo pollice). Quando il moto viene impresso alla lamina mediante un archetto si ha un suono sostenuto ed abbastanza netto per essere posto a confronto con un tuono musicale. In questo caso però bisogna usare ogni attenzione per far vibrare la lamina in tutta la sua lunghezza, senza far nascere in essa delle vibrazioni parziali.

708. Il numero delle vibrazioni si ha eziandio col mezzo della *sirena acustica*, così chiamata da Cagniard-Latour, perchè con essa si possono avere dei suoni dalle vibrazioni non solo d'un fluido aeriforme, ma ben anche da quelle dell'acqua e di qualunque altro liquido. La sezione verticale di quest'apparecchio è rappresentata nella fig. 266, dove *abcd* è una scatola cilindrica di ottone di 6 in 8 centimetri di diametro e di 3 centimetri d'altezza, coperta superiormente con un piano *ad* ben levigato e munita inferiormente d'un foro a cui è applicato il tubo del portavento. Nel piano vi sono praticate diverse aperture disposte all'ingiro ed equidistanti fra loro, come mostra la fig. 267. Le loro dimensioni sono tali che gl'intervalli pieni, da cui sono separate, hanno

una larghezza un poco più grande di quella delle stesse aperture. Queste aperture sono fatte normalmente al piano, sopra il quale è applicato esattamente un disco *mm* (fig. 266) quasi a contatto, senza però esercitare uno sfregamento sensibile. Questo è girevole in un all'albero A con un movimento più o meno rapido. Il disco è munito egualmente di aperture, che corrispondono esattamente a quelle del piano *ad* e sono inclinate alla superficie come si rappresenta nella sezione verticale SS (fig. 267). Per tal modo tutti i fori del piano *ad* sono aperti o chiusi, secondo che quelli del disco o gli intervalli piani del medesimo si trovano su di essi. L'albero A porta verso l'estremità superiore una vite il cui passo imbocca coi denti d'una ruota *rr*. A canto di questa ruota ve ne ha un'altra *pp*, che si move d'un solo dente ad ogni intera rivoluzione della *rr*. Gli assi di queste ruote portano delle lancette, che percorrono dei cerchi graduati C (*fig.* 268) e servono a contare il numero delle rivoluzioni della sirena. La ruota *rr* si può mettere in comunicazione colla vite premendo il bottone B (*fig.* 266) per far imboccare i suoi denti colla spira della vite dell'albero A, oppure premere l'altro bottone B' per togliere la comunicazione. La corrente d'aria, che è spinta dal portavento nella scatola *abcd*, passa per le aperture del piano *ad* ed incontra quelle inclinate del disco girevole *mm*. Sulle pareti di quest'ultime aperture si esercita la forza della corrente aerea, porzione della quale tende a far girare il disco *mm* in un coll'albero, come si è altrove dichiarato (§. 271). In tal maniera il disco concepisce un movimento di rotazione più o meno rapido secondo la forza con cui è spinta la corrente aerea nella scatola.

L'aria dunque passa dalle aperture del piano e si presenta a quelle del disco, che viene posto in movimento dall'aria medesima. Le aperture di questo disco nel girare corrispondono per un istante ai fori del piano, e subito dopo a questi fori si sovrappongono gl'intervalli pieni; talchè l'aria ora è lasciata libera nel suo moto ed ora è arrestata. In queste successioni alternate di passaggio e di fermata della corrente, l'aria al chiudersi del foro viene ad urtare contro gli spazi pieni e concepisce un moto di vibrazione, il quale, quando ha acquistato una certa rapidità, produce il fenomeno del suono. La celerità di queste vibrazioni dipende dal movimento del disco e dal numero dei fori di cui il piano è munito. Supponiamo, per un momento, che il disco abbia una sola apertura e 10 il piano, e che l'albero col disco compisca un'intera ri-

voluzione in un secondo. Egli è chiaro che in ogni decimo di secondo l'aria sarà arrestata nel suo corso e quindi in essa si genereranno 10 vibrazioni in un secondo. Se l'albero fa due rivoluzioni in quel tempo, si avranno 20 vibrazioni; se ne fa tre ne risulteranno 30, se dieci 100, e così il numero delle vibrazioni andrà sempre più aumentando a misura che si accelera il movimento di rotazione del disco; talchè se esso fa 100 rivoluzioni in un secondo, si avranno in questo tempo 1000 vibrazioni. Ammettiamo ora che il disco ruotante abbia 10 aperture al pari del piano della scatola; non si avrà ora in questo caso che un suono contemporaneo dieci volte più intenso; giacchè ciascuna apertura del disco produrrà l'egual effetto col foro corrispondente del piano. Dato quindi il numero delle aperture del piano stabile e il numero delle rivoluzioni del disco in un secondo, si avrà il numero delle vibrazioni dell'aria nel medesimo tempo. Il numero delle rivoluzioni si riconosce dalle lancette degli assi delle ruote, che scorrono sopra i cerchi graduati, e il tempo in cui esse si compiono si misura con un buon cronometro. Quando dunque si tratta di determinare per mezzo della sirena il numero delle vibrazioni d'un dato tuono, si comprime l'aria nel portavento in modo che il disco concepisca tale velocità di rotazione da far nascere un suono all'unisono col tuono dato. Ad un convenuto istante si preme il bottone della ruota del contatore e si mette in moto il cronometro, e dopo aver ascoltato i due suoni per un certo tempo, p. es. per 2', si arresta contemporaneamente il moto del contatore e del cronometro, e dividendo il numero delle vibrazioni dato dal primo per quello dei secondi dato dall'altro si avrà per risultato il numero delle vibrazioni in un secondo del tuono proposto.

709. La maniera più comune, e forse la più sicura per giungere a risultati esatti è quella di servirsi della formola (§ 704) $n=\sqrt{\frac{gp}{ml}}$. La lunghezza l e il peso della corda vibrante sono quantità, che possono essere determinate con tutta esattezza; la tensione p della corda può essere pure egualmente valutata; g è il valore noto della gravità: per cui si ha facilmente il numero n di vibrazioni d'un dato tuono. Fischer ha trovato con questo metodo pel tuono del corista del teatro di Berlino 437,32 vibrazioni, per quello dell'opera francese 431,34, e per l'altro del teatro italiano 424,17 in un secondo.

Si suole notare con $\overline{do}^{1}$ il *do* del violoncello e così coll'esponente 1 la gamma che ha quel *do* per tuono fondamentale; parimenti col-

l'esponente 2 la gamma dell' ottava seguente, e coll' esponente 3, 4 le successive ottave ascendenti. Il corista dà il suono $\overset{-2}{la}$, e la voce dell'uomo si estende in generale dal $\overset{-1}{sol}$ al $\overset{-3}{fa}$, e quella della donna dal $\overset{-3}{re}$ al $\overset{-4}{la}$. Ora il $\overset{-2}{la}$ del corista del teatro italiano è prodotto da 424,17 vibrazioni in un secondo, e per conseguenza il $\overset{-1}{la}$ lo è da $\frac{424,17}{2}=212,09$, ed il $\overset{-1}{do}$ da $\frac{3}{5}$ 212,09=127,25. Dunque sarà

il $\overset{-1}{sol}$ eguale $\frac{3}{2}\overset{-1}{do}=\frac{3}{2}\times127,25=190,88$ vibrazioni in 1″

$\overset{-3}{fa}$ $\quad \frac{4}{3}\overset{-1}{do}\times4=\frac{16}{3}\times127,25=678,67$

$\overset{-3}{re}$ $\quad \frac{9}{8}\overset{-1}{do}\times4=\frac{36}{8}\times127,25=572,62$

$\overset{-4}{la}$ $\quad \frac{5}{3}\overset{-1}{do}\times8=\frac{40}{3}\times127,25=1696,67.$

La voce dell' uomo, estendendosi dal $\overset{-1}{sol}$ al $\overset{-3}{fa}$, eseguisce circa 190 vibrazioni in 1″ pel suono più grave, e 678 pel più acuto; mentre la voce della donna ne fa 572 pel suono più grave e 1696 pel più acuto. L'estensione dei tuoni che una voce umana od uno strumento può percorrere dal suono più grave al più acuto chiamasi *diapason*, ed è per ciò che si dice una persona essere dotata d' un bel diapason quando ha una grand'estensione di voce.

Il suono più acuto percettibile comunemente dall'orecchio umano si stabilisce da alcuni di 8000 vibrazioni in 1″; Chladni ammette che si possono udire ancora dei suoni di 12000 vibrazioni, che Wollaston porta a 18000 e fino a 21000 vibrazioni. Savart ha mostrato che sono percettibili dei suoni che fanno 48000 vibrazioni in 1″ (1). All'incontro il suono più grave percettibile è quello che fa 32 vibrazioni in 1″; ma Savart mostra che riescono sensibili dei suoni prodotti da 16 e da 14 vibrazioni in 1″ (2), e conchiude che non vi sono prove dirette per determinare un limite alla perce-

(1) *Annales de chimie et de physique*; seconda serie, tom. XLIV, 1830, pag. 337.

(2) *Annales* suddetti, tom. XLVIII, 1831, pag. 69.

zione dei suoni gravi ed acuti. Si ritiene però che i suoni prodotti dagli strumenti musicali abbiano i limiti di 32 vibrazioni in 1″ pel più grave e di 8000 pel più acuto.

Le lunghezze delle onde che questi suoni produrranno nell'aria si possono determinare conoscendo noi la velocità del suono per questo fluido (§ 699). Infatti nell' aria la velocità del suono è di 340 metri per secondo, ed un suono che risultasse da 340 vibrazioni per secondo produrrebbe delle onde della lunghezza di 1 metro; giacchè ciascuna vibrazione eccita un' onda (§ 697) e le 340 onde eccitate in 1″ formano precisamente la lunghezza di 340 metri. Da ciò si apprende che la lunghezza delle onde si ottiene dividendo la velocità del suono pel numero delle vibrazioni. Dunque il suono più grave della voce dell'uomo produce un' onda della lunghezza di $\frac{340}{190}=1,8$ metri, e quello più acuto della donna $\frac{340}{1696}=0,2$; vale a dire che la voce umana ordinaria produce nell'aria delle onde della lunghezza da 18 a 2 decimetri. I limiti delle onde aeree prodotte dai suoni più gravi e più acuti sarebbero di metri $\frac{340}{32}$ e $\frac{340}{8000}$, ossia di met. 10,625 e millimetri 42,5. I suoni di alcuni insetti producono delle onde che hanno la lunghezza di qualche centimetro, e quando le onde sono eccessivamente corte, diventano una causa omogenea per l'organo dell'udito, e non ne può distinguere nè il principio nè il fine.

710. Ma oltre il *tuono* o la diversa acutezza e gravità dei suoni che dipende dal numero delle vibrazioni o dalla lunghezza delle onde nell'aria, vi hanno altre due qualità caratteristiche dei medesimi cioè: *l'intensità e la tempra.*

Due suoni possono essere all'unisono, cioè produrre l'egual tuono, ed essere l'uno più intenso dell'altro. L'intensità dipende dalle compressioni più o meno forti ed estese senza che varii il numero delle vibrazioni, per cui il corpo sonoro imprime nell'aria delle velocità più o meno grandi, le quali si propagano di strato in istrato e giungono a colpire l'organo uditorio. Il suono tratto dalla corda del contrabasso può essere all'unisono con quello d'una campana, cioè produrre delle onde d'egual lunghezza; ma l'aria urtata dalla campana compie delle ondulazioni molto più gagliarde ed estese in larghezza, e genera un suono d'un'intensità assordante. Il *tam-tam cinese* e la *campana spirale* danno perciò un suono molto intenso per l' estensione della su-

perficie del corpo sonoro in vibrazione. A Wasinghton è stata accordata una patente di privativa per una campana spirale composta di grosse spranghe d'acciaio fuse e congiunte assieme a foggia d'una spirale. Essa è sospesa per un'estremità, e tre martelli di differente grossezza fissi al centro ne percuotono la base. I suoni che si generano sono intensi e somiglianti a quelli delle ordinarie campane (1). I Greci moderni in Oriente, essendo loro vietate le campane comuni, fanno uso di simili mezzi che si vedono anche applicati fra noi ad alcuni orologi. È dunque la velocità e la quantità della massa d'aria agitata che produce l'intensità; ed abbiamo già veduto che quanto più l'aria è densa, tanto più il suono riesce intenso (§ 696). Appunto per tal ragione l'intensità del suono si è trovata maggiore nel gas acido carbonico che nell'aria, ed al contrario minore nel gas idrogeno. Nei climi freddi dove l'aria è molto densa, il suono si estende a maggiore distanza, ed il capitano Parry infatti racconta che nelle regioni polari la voce umana s'intende a distanze cui non giunge ne' luoghi meridionali, dove per la maggior temperatura l'aria è meno densa. Gay-Lussac ha trovato che l'intensità del suono si era molto indebolita all'altezza di 7000 metri, cui si era elevato nel suo pallone aerostatico. Si è già detto che il suono nell'aria scema in intensità col quadrato della distanza (§ 698), perchè và diminuendo la massa e la velocità delle ondulazioni. L'intensità del suono dipende eziandio dallo alternarsi la densità dell'aria o del mezzo, perchè hanno luogo delle riflessioni parziali che ne cagionano l'indebolimento (§ 700). La direzione per la quale succedono le vibrazioni del corpo sonoro, relativamente al luogo dove si trova l'orecchio che le deve ascoltare, ha influenza sull'intensità. Si ode infatti più distintamente uno che parla rivolto verso di noi, di quando si rivolge verso il basso. Il vento quindi può accrescere o diminuire l'intensità del suono, secondo che spiri nello stesso o in contrario verso della direzione delle onde. Il suono può essere articolato o piano: si ha il primo quando l'ordine delle compressioni dell'aria nell'onda sonora e quindi delle velocità varia in grandezza, e le compressioni rappresentate con linee formerebbero una curva con sinuosità, od un'onda dentellata; mentre nel secondo le compressioni e le velocità vanno successivamente crescendo e poscia successivamente decrescendo (697).

(1) *Biblioteca italiana*, tom. XLI, pag. 447.

La tempra è quella qualità dei suoni particolare ad ogni corpo da cui sono tratti, indipendentemente dall'intensità e dal tuono. Due suoni possono essere all'unisono, od aver egual acutezza, come quelli d'un violino e d'un flauto, ed essere dotati eziandio dell'eguale intensità, senza che sia l'uno identico con l'altro, distinguendosi per la loro tempra che i Francesi appellano *timbre* ed i Tedeschi *Klang*. Pei suoni della voce umana, la tempra si chiama dagli Italiani *metallo di voce*, dicendosi che quel cantante ha un buon metallo di voce, una voce argentina. Secondo alcuni la tempra dipende dall'ordine con cui si succedono le velocità ed i cambiamenti di densità nei diversi strati d'aria che vengono compressi fra le due estremità dell'onda; ma ciò sarebbe il caso dell'articolazione o dell'accento dei suoni. La cagione di tale differenza sembra dipendere, con grande probabilità, dalle oscillazioni secondarie che accompagnano ogni suono fondamentale e che, come vedremo, danno luogo ad un fenomeno generale costituente la *risuonanza*.

711. Il suono non solo si propaga per l'aria e per tutti i gas ed i vapori (§ 696) ma eziandio pei liquidi e pei solidi. La condizione necessaria è l'elasticità per potere con ondulazioni trasmettere le vibrazioni del corpo sonoro.

Riguardo ai solidi, nell'esperienza della sveglia (§ 696) il suono ha dovuto necessariamente propagarsi attraverso le pareti di vetro per giugnere all'udito. Tutti i solidi elastici propagano il suono, ed i molli al contrario lo estinguono (§ 695). I minatori, scavando le gallerie, intendono i colpi degli operai che lavorano da altre parti, e giudicano così della direzione. Anzi i solidi in generale conducono meglio il suono dell'aria. Infatti Biot, in una lunga serie di tubi metallici d'un acquidotto, intendeva i colpi di martello dati all'altra estremità, ed udiva distintamente due suoni, l'uno più rapido trasmesso dal metallo, l'altro più lento trasmesso per l'aria. Un orologio, appoggiato all'estremità d'una trave ben secca, fa sentire le battute ad un orecchio che si accosta all'altra estremità, quand'anche la distanza sia tale da non essere sensibili per l'aria. Si ode pure il parlare a voce bassa, lo stropiccio fatto colle barbe d'una penna, l'urto prodotto con uno spilletto. La trasmissione non ha luogo trasversalmente alla trave, non essendo per questo verso la continuità così perfetta come nella direzione longitudinale. I marinai all'appoggio di questa proprietà applicano l'orecchio all'estremità d'un'asta di legno secco, mentre con l'altra scorrono le varie parti della nave, affine di scoprirne il luogo della rottura dal rumore del gorgogliare

dell'acqua. Nello stesso modo un sordo può gustare la musica suonata sul gravicembalo, stringendo fra i denti la cassa dello strumento, oppure applicando sul medesimo l'estremità di un'asta di legno, mentre tiene l'altra coi denti, pel quale il suono giunge ai nervi acustici.

Il suolo stesso, quando è consistente, conduce il suono meglio dell'aria. Ed è per questa ragione che le sentinelle avanzate stendono l'orecchio a terra per sentire i movimenti della truppa nemica, come il calpestio della cavalleria e lo scalpiccio della fanteria. Dopo ciò non deve far meraviglia quanto racconta Frölich: egli trovavasi in una villa distante circa 36 chilometri da Berlino, nella quale il 14 ottobre 1806, giorno della battaglia di Jena e di Auerstädt, udiva i colpi di cannone con molta distinzione, e sentiva tremare la terra sotto i piedi, in modo che la sensazione provata alle gambe sembravagli maggiore di quella che riceveva all'orecchio. Il vento spirava in quel giorno dalla parte opposta dello strepito del combattimento distante 150 e più chilometri. Negli otto giorni successivi egli non udì alcun rumore di cannone, quantunque fervesse ancora la battaglia presso Halla, posta sulla stessa linea, e 60 chilometri più vicina a lui di Jena (1). Qui sembra evidente che la propagazione del suono dipendeva di più dalla qualità del terreno su cui avveniva il combattimento, che dall'aria; per cui nel primo caso lo strepito della battaglia si propagava ad una distanza, cui non giungeva per mezzo dell'aria. L'osservazione infatti mostra che quando il suolo è coperto di neve, il rumore d'un combattimento perde moltissimo della sua intensità, e non si sente a grande distanza. Non deve inoltre fare stupore l'osservazione di De-la-Roche, al quale accadde che, portandosi ad una distanza da un dato suono doppia di quella cui a stento si udiva, lo sentì di bel nuovo e quasi così distintamente di quando si trovava vicino. In queste osservazioni bisogna pure che il terreno, su cui veniva posto l'oriuolo, fosse più atto, per la sua elasticità, alla propagazione del suono.

L'influenza dunque della qualità del terreno sulla propagazione del suono può rendere molto differente la distanza per sentire certi suoni, e quindi molto inesatta la conseguenza di giudicarne l'intensità dalla distanza. Si racconta che la più grande distanza, cui è stato sentito il suono, ascende a circa 450 chilometri; giacchè si vuole che a quella distanza siasi udita l'esplosione del vulcano di

(1) *Giornale di fisica, chimica ecc.* di L. Brugnatelli, tom. I, pag. 186, 1818.

S. Vincenzo in America. Nell'assedio di Genova si è sentito il cannone a Lione, vale a dire alla distanza di 430 e più chilometri. Nel 1814 io ho udito alla distanza di 96 chilometri il rumore delle cannonate del combattimento avvenuto nei contorni di Mantova, mentre persone poste in luoghi più vicini non l'udirono. Da quanto abbiamo riferito non si dovrà ritenere come relativo alla propagazione per l'aria quanto si annunzia da qualche scrittore, cioè che la musica delle bande russe sia sensibile alla distanza di 6 chilometri, lo scoppio d'un'archibugiata a 7 chilometri, la marcia d'una compagnia di soldati alla distanza di 500 metri, quella di uno squadrone di cavalleria di passo a 600 metri e di trotto o di galoppo a 900 metri.

Per valutare la velocità v del suono nei solidi, La Place ha dato la formola $v=\sqrt{\frac{g}{a}}$, dove g è la gravità ed a i $\frac{3}{2}$ dell'allungamento d'una verga d'un solido d'un metro di lunghezza stirata da un peso eguale al proprio ed applicato alla sua estremità. Chladni si è servito d'un altro metodo che sembra non condurre a risultamenti esatti, giudicando almeno da alcuni numeri ch'egli ha dato per alcune materie, di cui si ha la conducibilità pel suono con altri metodi. Esperimentando in un acquidotto formato con tubi di ferro della lunghezza complessiva di met. 951,25, ed osservando la differenza dal tempo che il suono impiegava nell'essere trasmesso per l'aria e pel metallo, Biot ha trovato (1) che pel ferro il suono viene propagato 10,5 volte più rapidamente che nell'aria, ossia che in un secondo esso percorre per quel solido $340 \times 10,5 =$ met. 3570. Ora Chladni dà la velocità del suono pel ferro di 5664 metri, vale a dire quasi i $\frac{2}{3}$ di più della velocità trovata da Biot. I tubi di ferro dell'acquidotto però, con cui egli ha istituito le sperienze, dovevano avere intermedie nelle loro congiunzioni delle rotelle di piombo, che diminuiscono la velocità del suono per la qualità e la variazione del mezzo. Nel vetro la velocità del suono è all'incirca eguale a quella del ferro. Nello stagno e nell'argento è minore. I legni hanno la facoltà conduttrice pel suono 10, 12 e fino a 16 volte quella per l'aria. I legni, incominciando dal miglior conduttore, trasmettono il suono nell'ordine seguente: *abete*, *salice*, *bosso*, *ciliegio*, *olmo*, *quercia* e *casta-*

(1) *Traité de physique expérimentale et mathématique*, tom. II, pag. 51.

gno. I metalli secondo l'ordine: *ferro, rame, argento, oro, stagno e piombo*.

712. I liquidi trasmettono pure il suono: i palombari infatti possono darsi dei segnali col percuotere sott'acqua due pietre, il cui suono si trasmette pel liquido. Per provare che i liquidi conducono il suono si è anche istituita la seguente esperienza: sopra un disco d'ottone si è collocata una sveglia, che si è coperta con una campana di vetro, chiudendone all'intorno la fessura con cera. Si sommerge la campana così disposta nell'acqua distillata e priva d'aria, per togliere il dubbio che qualche corpo estraneo al liquido contribuisca alla trasmissione del suono, che si sente distintamente attraverso all'acqua tosto che si è lasciata libera la molla della sveglia, nello stesso modo dell'esperienza precedentemente istituita (§ 696).

Colladon ha istituito delle esperienze nel lago di Ginevra sulla facoltà conduttrice pel suono dell'acqua (1). Dalle sue sperienze risulta che quando si ascolta il suono prodotto dalla percossa di martello sopra un corpo immerso in parte nell'acqua, s'intendono distintamente due rumori: il primo giunge col mezzo dell'acqua in tempo più breve, e sembra meno intenso del secondo trasmesso per l'aria. A misura però che si allontana, il rapporto delle due intensità varia e ad una certa distanza *il rumore per l'acqua riesce molto più intenso di quello per l'aria. Aumentando ancora la distanza, si continua ancora ad udire distintamente il suono per l'acqua, quando anche non si senta più verun suono per l'aria in tempo di calma e durante il silenzio della notte*. Il rumore delle palette delle ruote d'un battello a vapore riesce sott'acqua debole e confuso; e quello d'una catena agitata nell'acqua s'intende alla distanza di 4 in 5 chilometri. Egli ha sperimentato eziandio con una campana del peso di 500 chilogrammi, immersa nell'acqua alla profondità di 3 metri e percossa con un martello di 10 chilogrammi; il suono che si produce si sentiva ancora alla distanza di 35 chilometri. Pare che abbia avuto luogo un eco pel suono riflesso dal fondo del lago. Egli opina che, con mezzi energici e ben combinati, si potrebbe comunicare il suono sott'acqua alla distanza di alcune centinaia di chilometri, ed applicar quindi alla telegrafia la conducibilità dell'acqua pel suono. La quale idea è stata recentemente di nuovo messa in campo (2).

(1) Si veggano gli *Annali di fisica, chimica* ecc. di Majocchi, tom. VI, pag. 76.

(2) Vedi *Annali* suddetti, seconda serie, tom. II, pag. 215.

Per valutare la velocità v del suono pei liquidi è stata data dallo stesso La Place la formola $v = \sqrt{\frac{g}{a}}$ simile a quella dei solidi, dove a è il raccorciamento che prova una colonna orizzontale del liquido di 1 metro di lunghezza, allorchè è compressa in un tubo inestendibile di un peso eguale al proprio. Quest'accorciamento può essere facilmente determinato, conoscendosi la comprobabilità per un'atmosfera (§ 516); anzi la formola facilmente si trasforma in quest'altra.

$$v = 3208,34 \sqrt{\frac{9,8058}{DC}},$$

dove D è la densità del liquido per rapporto all'acqua, e C la compressibilità del liquido per un'atmosfera, prendendo per unità i millionesimi, come si è altrove riferito (§ 516). Ecco la velocità del suono per alcuni liquidi alla temperatura di 10° centesimali calcolata colla formola.

Etere solforico della densità di	0,712,	metri	1039
Alcoole	0,795,	»	1157
Essenza di trementina . . .	0,870,	»	1276
Acqua	1,000,	»	1455
Acqua satura d'ammoniaca . .	0,900,	»	1842
Mercurio	13,596,	»	1531

Colladon cogli sperimenti succitati ha trovato per la velocità del suono, nell'acqua del lago di Ginevra, 1435 metri, che differisce di poco da quella calcolata.

713. Tutti i corpi atti a *trasmettere il suono*, sono altresì capaci di *produrlo*; o in altri termini, tutti i corpi suscettibili di concepire delle *ondulazioni*, possono anche essere posti in *vibrazione*, e divenire così sorgente di suoni; e quindi i corpi *conduttori* sono eziandio *generatori* del suono. Giova però distinguere le ondulazioni, per le quali il suono si propaga, dalle vibrazioni donde esso nasce: le prime suppongono sempre le altre. Le onde progrediscono costantemente, le vibrazioni rimangono stazionarie. In queste, alla massima velocità corrisponde la maggiore densità, il che non si riscontra in quelle. L'onda eccita nella sua propria direzione soltanto una nuova onda e non retrocede; la vibrazione genera invece tutto all'intorno delle onde sonore. La vibrazione si ripete quantunque la causa motrice abbia cessato d'agire; l'onda al contrario non nasce

se non vi ha la vibrazione. In tal modo una corda, dopo essere stata toccata con l'archetto, continua a vibrare ed a produrre un suono; ma le ondulazioni, da cui è trasmesso, cessano all'istante medesimo della vibrazione dalla quale sono state prodotte.

Si sono già fatte conoscere le leggi delle vibrazioni delle corde tese (§ 704), e delle lamine elastiche (§ 707); in questi corpi, come in tutti gli altri sonori bisogna distinguere la vibrazione totale dalle vibrazioni parziali, avendosi in ogni caso un suono differente ed alcuni fenomeni che andiamo a considerare.

714. Si prenda una corda di minugia d'una sufficiente lunghezza e rivestita di metallo per avere un suono grave, e con una forte arcata si faccia vibrare: avvicinando con attenzione ad essa l'orecchio si odono, oltre il tuono fondamentale, alcuni suoni deboli ma più acuti, i quali hanno rapporti semplici e definiti col tuono più basso, ossia sono con questo armonici. I tuoni, che ne nascono, unitamente al fondamentale, sono compresi nella serie dei numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5 ecc., il secondo dei quali è l'*ottava* del primo, il terzo la *quinta* dell'ottava o la *seconda quinta* $\frac{3}{2}\times 2=3$, il quarto la *seconda ottava*, il quinto la terza della seconda ottava o la *tripla terza* $\frac{5}{4}\times 4=5$ ecc. La produzione di tali suoni ci conduce alla conseguenza che, oltre l'intera corda, devono vibrare alcune parti, le quali abbiano le lunghere in ragion inversa di quei numeri esprimenti le vibrazioni (§ 705) cioè $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ ecc. dell'intiera corda. Si formano in tale maniera dei *nodi di vibrazione*, dei quali si conosce l'esistenza ponendo sulla corda dei cavalletti di carta, i quali non saltellano nei luoghi dove havvi qualche nodo. Il punto di mezzo fra due nodi costituisce il centro o il *ventre di vibrazione*.

Analogo al precedente è quest'altro fenomeno. La corda tesa sul monaccordo si prema col dito sul ponticello mobile portato alla metà della lunghezza, e la si stropicci con l'archetto all'estremità: non solo vibra la metà della corda toccata, ma eziandio l'altra metà, come si scorge dal saltellare dei cavalletti. Condotto il ponticello sotto la divisione del primo terzo che si fa vibrare nell'egual modo, ciascuno degli altri due terzi vibra del pari separatamente formandosi un punto nodale immobile, quantunque libero, come si scorge dai cavalletti di carta. Lo stesso avviene dividendo la corda in quat-

tro, cinque ecc. parti eguali, formandosi 2, 3 ecc. nodi, sui quali rimangono immobili i cavalletti, mentre saltellano in tutti gli altri punti. Per cui, anche nella prima sperienza, la corda intera può vibrare, senza impedire che vibrino contemporaneamente le sue parti; in tal caso però deve prendere una forma composta delle curve che nascono nelle diverse vibrazioni, come è rappresentato nella *fig.* 269 per un solo nodo di vibrazione. Parimenti due corde l'una tesa accanto all'altra, mettendone una in vibrazione coll'archetto vibra anche l'altra, e si hanno due suoni all'unisono se le due corde sono eguali nelle loro dimensioni ed egualmente tese.

Il fenomeno precedente costituisce ciò che si chiama *risuonanza*, la quale non si deve confondere col *rimbombo* dipendente dal suono riflesso (§ 701). Da esso dipende la tempra dei tuoni emessi dai diversi strumenti (§ 710).

Le vibrazioni nelle corde elastiche, di cui abbiamo finora parlato, sono trasversali, ma esse si possono fare anche nella direzione della lunghezza. In questo caso bisogna strisciare sulla corda sotto un angolo molto acuto, e si ottiene un distendimento ed una contrazione successiva, per cui nascono vibrazioni longitudinali e suoni che sono molto più acuti di quelli ottenuti colle vibrazioni trasversali. Le leggi delle vibrazioni trasversali non hanno veruna relazione col moto vibratorio longitudinale.

715. Le verghe prismatiche e cilindriche seguono la stessa legge delle lamine, quando sono fisse ad un'estremità (§ 707). In una verga o in un cilindro *il numero delle vibrazioni è in ragione inversa del quadrato della lunghezza*, cioè della porzione dello stesso pezzo che si fa vibrare. Nelle vibrazioni di questi corpi possono formarsi dei nodi, ed allora cambia il tuono che è tanto più acuto quanto è più grande il numero dei nodi. Il *corista* o *diapason* è una forchetta d'acciaio che dà ordinariamente il tuono *la* per accordare gli strumenti; ma quando i due rami di cui si compone, invece d'essere compressi l'uno contro l'altro per farli vibrare in tutta la loro lunghezza, si striscia uno di essi con un archetto, si possono produrre uno o due nodi di vibrazione come in A. B. (fig. 270), e si ottengono suoni più acuti. Con verghe o lamine di vetro o d'acciaio appoggiate alle due estremità, si forma uno strumento molto conosciuto detto *buonaccordo*. Disponendo in serie di queste lamine di

eguale lunghezza e grossezza, e colle lunghezze in ragione di $1, \sqrt{\frac{8}{9}}, \sqrt{\frac{4}{5}}, \sqrt{\frac{3}{4}}, \sqrt{\frac{2}{3}}, \sqrt{\frac{3}{5}}, \sqrt{\frac{8}{15}}, \sqrt{\frac{1}{2}}$, esse darebbero i suoni della gamma diatonica.

Le verghe ed i cilindri elastici possono vibrare longitudinalmente come le corde tese, ed anche per torcimento. Le vibrazioni però in questi casi nulla hanno di comune colle leggi delle vibrazioni trasversali.

Colle *piastre* e *lastre rigide* e colle *membrane tese* si ottengono dei suoni in virtù di vibrazioni che succedono in tutte le loro dimensioni. Allorquando uno di questi corpi vibra, si divide esso in un certo numero di parti, ciascuna delle quali si agita, e nei loro punti di congiunzione formano delle *linee nodali*, che non tengono al movimento nè dell'una nè dell'altra parte e rimangono per conseguenza immobili, ciò che si mostra all'occhio disponendo le superficie orizzontalmente, e spargendo su di esse delle sostanze in polvere assai fina e secca, che si accumula sulle linee nodali. Questo metodo ingegnoso immaginato da Galilei come si apprende dai suoi *Dialoghi*, è stato applicato dai fisici moderni, e principalmente da Chladni, in un gran numero di sperienze. Quest'ultimo si è servito di lastre di vetro di diversa forma, determinando in ogni caso la natura dei suoni, il numero delle parti vibranti e la figura delle linee nodali.

Per questi sperimenti bisogna scegliere delle lastre di vetro, che abbiano, per quanto è possibile, l'egual grossezza in tutta la loro estensione. Le lastre dei vetri comuni sono più proprie di quelle di cristallo degli specchi, le quali essendo più grosse hanno sempre delle ineguaglianze nella loro massa. Si sostengono queste lastre fra due dita, o meglio si serrano fra le due branche di un morsetto di legno rappresentato nella fig. 271, stropicciandole con l'archetto sul loro orlo, che deve perciò essere bene smussato e levigato collo smeriglio. Il morsetto può essere tenuto colla mano, od essere assicurato per la parte opposta ad un tavolo.

Nel suono più grave prodotto con una lastra quadrata le linee nodali prendono la disposizione A (fig. 272), la quale si ottiene serrando la lastra al centro, e stropicciandola vicino ad un angolo. Le linee nodali rettilinee di questa disposizione possono talvolta trasformarsi in quattro curve congiungenti i punti di mezzo dei lati della lastra. Il suono, che ascendendo segue immediatamente il precedente, è dato dalla disposizione B, dove le linee nodali sono le diagonali del

quadrato. Per ottenerlo si deve serrare la lastra come precedentemente e strisciare con l'archetto nel mezzo d'uno dei lati. Il suono così ottenuto è la quinta acuta del primo.

Se la lastra viene serrata nel morsetto vicino ad un suo lato in *n* (fig. 273) e si applichi l'archetto in *f* sulla medesima linea retta, condotta per *n* perpendicolare al lato *pq*, si producono, come nella disposizione C, tre linee nodali rette, parallele fra loro ed al lato *pq*, una delle quali passa pel centro della lastra. La vite del morsetto deve premere leggermente sulla lastra per non interrompere quelle linee rette. Se la lastra si serra un poco più distante dall'orlo e sulla stessa direzione *fn*, il piegamento della lastra nell'essere strisciata diventa più grande verso la parte cui si applica l'archetto, e le linee nodali s'incurvano prendendo la disposizione D.

Si possono variare indefinitamente questi modi di vibrazione, ma ciò basta per mostrare come, variando la disposizione delle linee nodali, cambia il suono che si trae. Prendiamo invece delle lastre di altra forma, p. es. circolari. In queste lastre, quando sono libere al loro orlo, tutte le disposizioni possibili delle linee nodali possono essere riferite a due tipi primitivi, che sono diametri e cerchi. Le rette dei diametri possono piegarsi, e i cerchi torcersi in maniera da degenerare in altre linee sovente irregolari; ma tali modificazioni non cambiano la natura del suono, che resta il medesimo in tutte le forme secondarie derivate dalla medesima forma primitiva. Quando le linee nodali sono altrettanti diametri, esse formano come una stella i cui raggi possono essere in numero di 4, 6, 8, 10, sempre pari. Il suono diventa più acuto quanto è più grande il numero delle linee, il che dipende dal dividersi la lastra in parti più piccole, che compiono le vibrazioni più celeramente.

Il tuono più grave che si ottiene è quello della disposizione A (fig. 274), nella quale la lamina è primieramente serrata al centro, che si trova nel nodo comune a tutti i diametri, e poscia in un punto della sua circonferenza per determinare compiutamente la direzione d'una linea nodale, strisciando sempre con l'archetto nel punto di mezzo di una delle parti vibranti. Per ottenere questa disposizione, e in generale quelle più semplici delle linee nodali, bisogna premere di più l'archetto e strisciarlo più lentamente di quando si devono produrre delle divisioni più complesse. La ragione si è, che, dovendo mettere in agitazione parti più grandi, si ha bisogno di maggior forza e di maggior tempo per la comunicazione del moto. Se si preme con minor forza e più celeramente si può ottenere la disposi-

zione B di otto parti, la quale darebbe un suono che sarebbe alla doppia ottava di quello dato dalla disposizione A; cioè il suono dato dalla disposizione A essendo $\overline{do}^1=1$, quello dato dalla B risulterebbe $do^3=8$. Infatti nel primo caso il numero dei settori in vibrazione è 4. nel secondo 8, vale a dire stanno come 1 : 2, quindi le grandezze dei settori starebbero come 2 : 1. Siccome il numero delle vibrazioni sono in questo caso in ragion inversa dei quadrati delle grandezze delle lamine vibranti (§ 707); così i suoni corrispondenti starebbero nel rapporto inverso di 4 : 1, cioè il secondo sarebbe, come si disse, la doppia ottava acuta del primo.

I nodi rettilinei possono deformarsi in linee nodali secondarie, nelle quali alcune si riuniscono per formare una linea curva, che non passa più pel centro della lastra. Si è in tal modo che la disposizione B (fig. 274), formata di 8 raggi, può deformarsi nell'altra C (fig. 275) nella quale rimane soltanto una linea nodale rettilinea, essendosi le altre incurvate e riunite due a due. Il suono però è ancora la doppia ottava acuta come prima.

Si possono altresì determinare delle linee nodali circolari, ed avere le disposizioni A, B (fig. 276) e C, D (fig. 277), come pure quella deformata E (fig. 278). In tal caso il centro, non facendo parte delle linee nodali in quasi tutte quelle disposizioni, bisogna che sia lasciato libero e sia serrato nel morsetto uno dei punti della linea nodale che si vuole ottenere. L'archetto si striscia sull'orlo della lastra tanto più fortemente e più lentamente quanto più grande è la porzione di lamina da mettere in moto. In alcuni di questi casi si suole eziandio con una ciocca di crini impeceiati strisciare la lastra su qualche punto di mezzo per un foro fatto al centro. Il tuono più grave si ottiene dalla disposizione rappresentata da A (fig. 276) formata di una sola linea circolare.

Si hanno delle linee nodali e dei suoni differenti con lastre triangolari, pentagone, esagone e simili. Le lamine di metallo danno in generale un maggior numero di linee nodali, e quindi dei suoni più acuti; ma quando la forma e il numero delle linee nodali è uguale, si hanno i medesimi tuoni che si traggono dalle lastre di vetro.

Le membrane tese, come sono quelle dei tamburi, dei timballi, seguono le medesime leggi delle lastre rigide. Il tam-tam cinese è una lamina rigida d'una composizione metallica assai elastica, che dà un suono molto forte, e che vibra formando colle linee nodali delle figure semplici e quindi dà suoni anche gravi. Le campane, gli

anelli elastici ed altri simili corpi sonori partecipano nelle loro vibrazioni dei medesimi principii.

716. I fluidi aeriformi e liquidi non solo conducono il suono, ma sono pur essi corpi sonori. Negli strumenti da fiato e nelle canne degli organi il corpo sonoro è l'aria. Le vibrazioni nell'aria possono essere eccitate in altra maniera: dall'esplosione d'un'arma da fuoco, dal vento che entra per una fessura molto stretta; colla sirena acustica (§ 708); col mozzone della frusta dove l'aria è percossa violentemente fra le due parti ripiegate producendo quel suono che si chiama il *chioccare della frusta*. Queste vibrazioni variano secondo le circostanze, e nei diversi casi non conservano la stessa regolarità per produrre sempre il medesimo tuono. In uno dei casi annoverati il tuono riesce tanto più acuto quanto più il vento è gagliardo e più angusta la fessura. I suoni prodotti dalle vibrazioni dell'aria riescono più uniformi e più distinti, se questo fluido urta una lamina che gli viene incontro con moto regolare, e se questa lamina varia nel suo moto, variano del pari le vibrazioni nell'aria e quindi il tuono che ne risulta, come agevolmente si prova con un pezzo di carta posto alla bocca, sul quale vien diretta col soffio una corrente d'aria. Nelle vibrazioni dell'aria che si producono dall'urto contro le lamine della *fisarmonica*, i suoni riescono più regolari e distinti, perchè non possono così facilmente variare le circostanze da cui sono accompagnati.

La differenza fra i solidi ed i fluidi nel moto vibratorio dipende dall'essere il corpo solido in vibrazione ritenuto al suo posto, e la stessa massa in moto generare le ondulazioni per cui il suono si propaga nel mezzo circostante. Al contrario la massa fluida non si può, per così dire, tener legata nel luogo dove si genera il suono, ma si sostituisce ad essa un'altra esattamente eguale e nelle medesime circostanze per avere il medesimo tuono. Negli strumenti da fiato si ottiene l'uniformità del suono circoscrivendo invariabilmente lo spazio, dove l'aria deve essere agitata. In altri casi varia il suono, perchè cambiano le circostanze da cui è accompagnato. Il bastone, che fende con una certa velocità l'aria, produce una specie di sibilo, il quale diventa più acuto coll'accrescere la velocità del bastone. L'aria in questo movimento è urtata pel davanti, ed al di dietro si getta nel vuoto lasciato dal bastone, e produce successivamente delle vibrazioni che promuovono nell'aria circostante delle ondulazioni, per le quali il suono si propaga. Se il bastone si muove con rapidità in avanti e ritorna colla medesima rapidità indietro, succede l'egual

fenomeno considerato altrove (§ 697). Talchè le vibrazioni dell' aria generatrici del suono si fanno in un piccolissimo spazio, a cui succedono tosto le ondulazioni propagatrici del medesimo. Daniele Bernoulli e Biot, che hanno sperimentato ed analizzato il suono nelle canne degli organi e nei tubi degli strumenti da fiato, ritengono come piccolissimo lo spazio dove l'aria vibra e si muove con leggi assai complicate; ma col mezzo di sperienze assai precise si trova che *questa complicazione non s'estende che ad una piccolissima distanza dall'imboccatura, dopo cui i movimenti dei diversi strati aerei diventano perfettamente regolari e simili* (1), soggiungendo eziandio che le scosse ripetute periodicamente e con una successione assai rapida nelle canne d'organo, dovranno, come le vibrazioni d'un corpo solido, eccitare nella colonna d'aria delle ondulazioni d' una lunghezza costante. Un fluido dunque suona in virtù di successive e rapide percosse, e la linguetta nel clarinetto, nell'oboè, ed altri simili strumenti fa pure l'egual uffizio, non essendo essa per sè il corpo sonoro; giacchè vibrando all'aria libera non produce verun suono. Ci sembra quindi inutile l'osservazione di Chladni (2) di dare al vocabolo suono un senso più esteso, poichè, dic'egli, delle percussioni (su corpi non sonori), che si succedono con forza e rapidità ad intervalli eguali, possono essere trasmesse ad un mezzo qualunque e determinare così delle vibrazioni sonore più o meno percettibili. Di questo genere sono i suoni prodotti dalla percussione dell' aria per mezzo d'un bastone, dalla linguetta del clarinetto e simili, e dal passaggio d'un vento rapido per le fessure d' un edifizio ecc. Le vibrazioni in questi casi non sono trasmesse all'aria, come succede nei corpi sonori, ma esse sono prodotte da una serie di percussioni che si fanno immediatamente sopra un mezzo, che si cambia e si rinnova continuamente. — La cosa avviene sempre così in tutti i casi in cui un fluido sia il corpo sonoro; e la distinzione di Chladni ci sembra, come si disse, inutile. L'*ondulazione propagatrice* succede immediatamente alla *vibrazione generatrice*, quando il corpo sonante è un fluido.

717. Il tuono nei tubi o nelle canne varía secondo che essi siano aperti ad ambedue le due estremità o ad una sola.

Da un tubo aperto e del medesimo diametro in tutta la lunghezza, soffiando con diversa forza e cambiando eziandio, se fia d' uopo, la

(1) Biot.—*Traité de physique* succitato, tom. II, pag. 114.
(2) *Bulletin de Ferussac*, tom. VIII, 1827, pag. 186.

larghezza della bocca, si traggono i suoni rappresentati dai numeri 1, 2, 3, 4, ecc., cioè il suono fondamentale 1, l'ottava 2, la seconda quinta $3=\frac{3}{2}\times 2$, la seconda ottava 4 ecc., e verun altro tuono intermedio non si giunge ad ottenere da tali tubi. Il tubo deve avere una lunghezza che sia almeno 10 volte il suo diametro, e sia formato di materia abbastanza consistente. Se le pareti sono molto sottili, è difficile di cavare il tuono fondamentale 1, ma dà tosto il tuono 2 ed i seguenti. Allorquando il tubo dà il tuono 2, si può esso dividerlo in due parti eguali e levarne la metà senza che il suono sia alterato; parimenti quando dà il tuono 3 si può dividere in tre parti e levarne il terzo od i due terzi senza cambiarne il suono. Da ciò si apprende che nel primo caso vi ha un ventre d'oscillazione nel mezzo della lunghezza del tubo, dove lo strato d'aria non è condensato nè rarefatto, giacchè lasciando questo strato libero non altera il suono. Nel secondo caso vi sono due ventri d'oscillazione, l'uno al termine del primo terzo e l'altro del secondo terzo della lunghezza del tubo. Lo stesso si dica pei suoni 4, 5 ecc.

Nei tubi chiusi ad un'estremità si ottengono dei suoni, i quali, partendo dal fondamentale 1, gli altri formano con questo la serie 1, 3, 5, 7 ecc., senza che sia possibile di trarne degli intermedj. Da questo si deducono delle conseguenze analoghe a quelle dei tubi aperti da ambidue i lati.

Infine si è trovato che due tubi d'egual lunghezza, l'uno dei quali chiuso ad un'estremità, e l'altro aperto da ambedue le parti, il primo dà un tuono fondamentale, che è l'ottava di quello che si ottiene dal secondo; vale a dire che il tubo chiuso dà il tuono grave 1 e quello aperto il tuono acuto 2. Per disporre poi dei tubi i cui suoni fondamentali diano la gamma o la scala musicale, si prenderanno tali che le loro lunghezze stiano fra loro come i numeri $1, \frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}$ $\frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{8}{15}, \frac{1}{2}$. Se saranno tutti aperti da ambidue i lati, la gamma sarà ad un ottava più acuta di quella che si otterrebbe se fossero chiusi ad un'estremità; talchè il tubo aperto di lunghezza 1 darà un tuono all'unisono di quello chiuso all'estremità di metà lunghezza di esso. Ma pei movimenti complicati che prova lo strato d'aria presso l'imboccatura v'ha qualche lieve differenza fra l'indicazione della teoria e la pratica, e le lunghezze precedenti dovranno essere un poco modificate per ottenere la giusta gamma.

In generale si dimostra che, chiamando v la velocità del suono nell'aria, l la lunghezza del tubo; il tuono fondamentale d'un tubo chiuso ad un'estremità è rappresentato da $\frac{v}{2l}$, e quello d'uno aperto da $\frac{v}{l}$ Per ottenère dunque con un tubo chiuso il suono più grave percettibile di 32 vibrazioni (§ 709), si avrà $32=\frac{v}{2l}$, da cui $l=\frac{v}{64}$ $=\frac{340}{64}=5,31$, cioè il tubo dovrà avere non meno di met. 5,31 di lunghezza, mentre per un tubo aperto si richiederà la lunghezza di met. 10,63.

718. Quando si fanno suonare assieme due tubi i cui suoni siano poco distanti l'uno dall'altro, si prova ogni piccolo intervallo una specie di rinforzo assai sensibile che ha qualche somiglianza col trillo, e che dai suonatori d'organo si chiama *battimento*. Se contemporaneamente ascoltiamo due suoni, l'uno dei quali faccia p. es. 24 vibrazioni, mentre l'altro ne fa 25; vale a dire che differiscono fra di loro d'un semituono minore come è del *do* e del *do*#, avviene che ogni vigesima quarta vibrazione del primo, ed ogni vigesima quinta del secondo coincidono fra loro e colpiscono assieme l'orecchio producendo il fenomeno in discorso. Questa coincidenza succede ad intervalli tanto più brevi quanto più i due suoni sono fra loro distanti come sarebbe fra il *do* e il *sol*, in cui ogni due vibrazioni del primo e tre del secondo si avrebbe il battimento; mentre più essi si avvicinano risulta più di rado come fra i due suoni nominati *do* e *do*#, e per ciò in questo ultimo caso si distingue più facilmente. Il fenomeno non riesce così sensibile nelle corde, perchè i suoni in esse hanno minore intensità, e riesce tanto più sensibile quanto più i suoni sono forti.

719. I liquidi, quantunque dotati di poca elasticità, sono pure capaci di dare dei suoni. Noi sappiamo ch'essi conducono il suono, per cui la loro elasticità può essere capace eziandio a produrlo. Si prova colla sirena acustica, nella quale, invece dell'aria, s'introduce una corrente d'acqua o di qualunque altro liquido (§ 708). Si colloca la sirena in un profondo e largo vaso, e si mette in comunicazione il tubo inferiore con un condotto, che si eleva verticalmente ad una certa altezza. Questo condotto è chiuso inferior-

I *richiami*, le *trottole sonanti* servono a produrre suoni all'appoggio dei su esposti principii. Col richiamo s'imitano i suoni dei diversi uccelli, soffiando nello strumento per un foro con più o meno forza e più spesso aspirandovi l'aria pel foro opposto. La corrente aerea strascina con sè nel suo movimento una parte del fluido contenuto nella cavità del richiamo. In tal modo succedono dei condensamenti e delle rarefazioni, per cui si generano le vibrazioni producenti i suoni. Nella trottola l'aria agisce come nel flauto, colla differenza che nella rotazione della prima è l'orlo dell'apertura che è spinto contro l'aria in quiete, mentre nel secondo è l'aria stessa inviata con più o meno forza dal suonatore contro l'orlo del foro dello strumento.

Da una corrente di gas idrogeno in combustione, circondata da un tubo, si ottiene un suono, conosciuto sotto il nome di *armonica chimica*. Esso è prodotto da successive e rapide esplosioni di quel gas coll'ossigeno dell'aria atmosferica (1).

Si è trovato che, con tubi d'eguale lunghezza e diametro e di differenti materie, si ha sempre il *medesimo tuono*, quantunque possa essere di *tempra* e d'*intensità differente*, sempre che si adatti ad essi lo stesso beccuccio per far vibrare l'aria. I tubi di legno, di rame, di piombo, di cartone hanno dato sempre l'egual *tuono* (2). Secondo Savart però sembrerebbe che la qualità della materia abbia influenza sulla produzione dei *tuoni* (3). Secondo noi quest'influenza esiste quando la materia del tubo è molle o quando per la sua risuonanza possa modificare le ondulazioni dell'aria: quando però è di natura consistente, non vi ha veruna influenza sul numero delle vibrazioni.

721. La risuonanza, di cui abbiamo parlato (§ 714), è un fenomeno generale. Il suono, prodotto in qualsiasi maniera, si comunica a tutti i corpi atti a concepirlo, non solo per mezzo dell'aria, ma eziandio per altra materia conduttrice. Si prenda il corista e si metta in vibrazione: esso dà un suono debole; ma appoggiato sulla cassa del gravicembalo, nella quale sono tese le corde metalliche, il suono si fa tosto palese col medesimo tuono e con gran forza. Anzi se si tiene isolato sino a che le vibrazioni si siano indebolite al segno da riuscire il suono impercettibile, tosto che il diapason si appoggia

(1) Vedi gli *Annali di fisica* succitati, tom. II, pag. 48.
(2) Vedi *Traité de physique* ecc. di Biot, tom. II, pag. 113.
(3) *Eléments de physique* ecc. di Pouillet, tom. II, parte 1a, pag. 171, §. 494.

Digitized by Google

sulla cassa esso si manifesta di nuovo con grand' intensità. È chiaro che il movimento vibratorio del diapason si è comunicato, per mezzo dell'aria e della materia solida della cassa, a tutte le corde metalliche che possano ammetterlo nella loro lunghezza totale o nelle loro divisioni, e ne hanno rinvigorito il tuono. Accade un fenomeno consimile con la cassa del violino e con qualunque corpo elastico che possa concepire un moto di vibrazione, come sopra un tondo di terraglia capovolto, un bicchiere, un tavolo, ecc.

Da ciò si apprende come la scelta d'un legno a fibre mobili e facili ad essere eccitate, deve avere influenza sopra la bontà degli strumenti, ai quali si unisce appunto per questa ragione la *cassa armonica*, come il gravicembalo, il violino, l'arpa e simili. Egli è per ciò che sono celebri e ricercati nel mondo musicale i violini d'Amati, di Stradivari, di Guarnerio, di Ceruti, rinomati fabbricatori antichi italiani di questi strumenti.

L'organo produce altresì degli effetti somiglianti e più intensi sui corpi elastici, che presentano delle larghe superficie alle ondulazioni dell'aria. Se uno di questi strumenti si collochi in una camera, avviene spesso che qualcheduno dei suoi tubi è in armonia con uno o parecchi vetri delle finestre. In questo caso la finestra concepisce un tremito ogni volta che è agitata l'aria nel tubo dell'organo, e il suono che ne risulta riesce molto più forte. Lo stesso succede con un contrabasso. Queste vibrazioni talvolta sono così energiche, che le lastre di vetro, trovando un ostacolo nel telajo, screpolano e si rompono; per cui è avvenuto talvolta essersi trovate rotte delle lastre senza riconoscerne la causa apparente. Si racconta altresì che alcuni, dotati di robusto petto, hanno infranto un bicchiere avvicinandolo alla bocca ed emettendo un dato tuono di voce sostenuto per un certo tempo e sempre più rinforzato (1).

Savart ha istituito parecchie esperienze sulla comunicazione del suono (2), fra le quali riportiamo la seguente: in un regolo di legno AA sono incastrate e ben assicurate verso le estremità due lastre B di vetro (fig. 279), sulle quali riposa ed è attaccata con mastice la lamina CC pure di vetro, nel cui mezzo è applicata perpendi-

(1) Si vegga il *Trattato del suono e de'tremori armonici*, di Bertoli. Bologna 1680; come pure: *Stentor hyaloclastes, sive de scyphus vitreo per vocis humanae sonum rupto*, di Morhof. Kiel 1683.

(2) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, tom. XII, pag. 225, e tom. XIV, pag. 113.

colarmente con mastice la lastra D similmente di vetro. Se l'apparato è disposto in maniera che la lastra D sia orizzontale, mentre la lamina CC è verticale ed è stropicciata coll'archetto sul suo orlo, nascono sulla D delle linee nodali appartenenti alla vibrazione longitudinale, le quali linee appariscono all'occhio colla distribuzione che prende la sabbia fina e secca di cui si è cosparsa. Ponendo invece la lamina CC in posizione orizzontale, e strisciando con un dito o con un brandello di panno inumidito la lastra D per imprimerle delle vibrazioni longitudinali, compariscono su CC le linee nodali delle vibrazioni trasversali. Nel primo caso lo stropicciamento dell'archetto produce sulla lamina CC delle vibrazioni trasversali, le quali agitano la lastra D secondo la sua lunghezza e fanno nascere in essa delle vibrazioni longitudinali. Nel secondo caso collo stropicciamento del dito o del panno s'imprime nella lastra D un'agitazione longitudinale, la quale comunica alla CC un movimento trasversale. Da queste e da altre sperienze Savart è condotto alla conseguenza generale, che in *un sistema qualunque di corpi elastici, le molecole concepiscono dei movimenti paralleli a quello primitivo.*

Ci piace riportare quest'altro sperimento: Savart prese una robusta corda di violino che, mediante un ponticello, distese sopra un'asse piuttosto grossa. Il ponticello riposava sopra una lamina di piombo, la quale in quei punti era sostenuta da due pezzi di legno comune od anche di sovero appoggiati sull'asse. Facendo vibrare la corda con un archetto, egli ottenne sulla lastra di piombo le figure del suono simili a quelle di cui si è parlato (§ 715). Le vibrazioni dunque della corda sono state capaci di far vibrare la lamina d'una materia così poco elastica come è il piombo.

Da questa risuonanza, che concepiscono i corpi in comunicazione con quelli in vibrazione, si è tratto partito nella costruzione di alcuni teatri d'Italia di rinforzare i suoni dell'orchestra, mettendola in comunicazione con un sistema di corpi, che costituisce per l'orchestra medesima una cassa armonica a somiglianza di quella applicata al violino, al gravicembalo ecc.

722. Da tutto ciò che si è esposto si ricava che tutti i corpi elastici sono sonori e capaci di propagare il suono, il quale è portato al cervello, sede dell'intelligenza, mediante l'organo dell'udito. Questo organo si distingue in tre parti, cioè nella *cavità esteriore*, nella *media* e nell'*interiore*.

La prima consiste nell'orecchio propriamente detto, che è una specie di *padiglione*, che si restringe gradatamente e si trasforma

in un canale detto *meato uditorio*. Esso è alquanto tortuoso, rivestito di peli e di una sostanza molle detta *cerume*, atta ad arrestare qualunque insetto od altro corpo straniero, che potrebbe offendere un organo così delicato. Il fondo di questo canale è chiuso da una tenuissima pellicola tesa, che si chiama *membrana del timpano*, e che costituisce il termine della cavità esteriore. Le ondulazioni sonore dell'aria esterna giungono a questa membrana, che è destinata a raccoglierle ed a trasmetterle nell'interno; funzione cui è molto propria per la sua natura elastica. La propagazione però del suono succede anche per mezzo delle parti solide da cui è circondata; giacchè essa può essere rotta e ben anche levata, senza che la facoltà uditoria sia annichilata.

Succede poscia la cavità media detta *cassa del timpano*, perchè rappresenta in certo qual modo la cassa d'un tamburo su cui è distesa quella membrana. Questa cavità è ossea, tappezzata di diverse membrane e piena d'aria. Essa è chiusa da ogni parte eccetto in una, ove per un piccolo canale mette capo la *tromba d'Eustachio*, che ha origine nelle fauci. Per tal modo l'aria nella cassa del timpano può essere rinnovata e mettersi in equilibrio colla pressione esterna dell'atmosfera. È per questa tromba che le ondulazioni sonore giungono anche per la bocca all'organo uditorio, e che un sordo può gustare la musica afferrando coi denti l'asta di legno (§ 714). Ciò che la cassa del timpano racchiude di singolare sono quattro piccoli corpi consistenti chiamati *ossetti*, che formano una specie di catena continua attaccata da una parte alla membrana e dall'altra ad un apparecchio solido assai composto, che forma la cavità interiore. Questi ossetti prendono il nome dalla loro forma, e si chiamano il *martello*, l'*incudine*, la *staffa* e l'*orbicolare*. Parecchi muscoli agiscono su questa catena per tenderla od allentarla, e per tendere ed allentare nel medesimo tempo la membrana del timpano e quelle che separano questa cavità dalla seguente.

La cavità interiore chiamasi *laberinto*, a motivo dei varj andirivieni che vi si trovano. Questa cavità contiene tre *canali semicircolari*, un condotto osseo detto dalla sua forma la *chiocciola*, ed una capacità appellata *vestibolo*, che si può riguardar come un'anticamera per cui si ha l'accesso alle due parti anzidette, giacchè mettono capo in essa i tre canali semicircolari e la chiocciola. La chiocciola è separata dalla cassa del timpano da una membrana, che chiude un'apertura, detta dalla sua figura *foro rotondo*, mentre il vestibolo lo è dalla membrana che chiude un'altra apertura che dicesi

foro ovale. Il vestibolo e la chiocciola sono ripieni d'un liquido trasparente come l'acqua, chiamato, dal nome dell'italiano che lo scoprì, *liquido di Cotugno*, ed è in questo liquido che s'immergono i moltiplici filamenti del nervo acustico, pei quali viene portata l'impressione al cervello. I canali semicircolari sono riempiuti invece d'una materia grigia il cui uso è sconosciuto. Intorno alla chiocciola vi ha una *lamina spirale*, che sembra abbia una parte importante nella udizione; giacchè essa è dotata di fibre trasversali, che vanno scemando in lunghezza da un capo all'altro di essa, e sembrano costituire uno strumento acustico, capace di risuonanza e di mettersi all'accordo coi diversi tuoni che giungono sulla membrana del timpano. Dalle osservazioni fatte risulta che sin quando i filamenti del nervo acustico sono circondati di liquido, il suono è trasmesso dalle parti solide quantunque sia distrutta la membrana del timpano, e la sensazione giunge alla sede dell'intelligenza.

723. L'uomo, come molti altri animali, non solo è dotato dell'organo particolare per ricevere i suoni, ma altresì dell'*organo vocale* per generarli ed emetterli colla parola. Una specie di canale cilindrico detto *trachea* od *asperarteria* mette capo per un'estremità alla bocca e per l'altra comunica col polmone. Il suo principal ufficio è di dar passaggio all'aria nell'inspirazione e nell'aspirazione. Il canale è composto di anelli consistenti e cartilaginosi separati per altri anelli membranosi e flessibili. Verso la sua estremità inferiore esso si divide in due rami, l'uno a destra e l'altro a sinistra, e si appellano *bronchi*. Ciascun bronco si ripartisce in parecchie divisioni e suddivisioni, che vanno per ogni verso ad unirsi al polmone. Alla estremità superiore della trachea vi sono due lamine membranose rettangolari, situate parallelamente l'una all'altra ad una piccola distanza, in maniera che il loro intervallo offre una fessura stretta, per la quale l'aria, spinta dal polmone, è obbligata di passare avanti di entrare nella bocca. Queste lamine possono vibrare assai rapidamente dalla loro parte libera, e vibrano infatti quando si producono i suoni della voce in una maniera continua. Esse formano un apparecchio analogo ad una linguetta d'uno strumento da fiato, che si nomina *glottide*, e il luogo della trachea ove è situato, come i pezzi che l'accompagnano, la *laringe*. Al disopra della laringe vi ha una cartilagine atta a chiudere quel foro, la quale è denominata *epiglottide*, e si chiude ogni qualvolta passano i cibi e le bevande per entrare in un altro canale detto *esofago* e da esso nel *ventricolo*. Da quanto si è detto s'apprende che i suoni della voce umana sono pro-

dotti come quelli d'uno strumento da fiato. In generale si è osservato che gli individui, i quali hanno meglio sviluppato l'organo della voce e dell'udito e sono i più atti pel canto e per la musica, hanno meno facoltà per gli studj severi, e mostrano meno intelligenza per certe scienze astruse e difficili.

Conclusione della fisica dei corpi ponderabili.

724. Chiuderemo la *fisica particolare de' corpi ponderabili* con alcuni cenni, a guisa d'appendice, intorno alla loro costituzione chimica per meglio comprendere l'azione dei fluidi imponderabili sulla materia ponderabile ed alcuni fenomeni della fisica cosmologica (§. 415). Osserviamo dapprima che se dal lato fisico essi si riducono alle tre classi di *solidi*, *liquidi* ed *aeriformi*, per la loro costituzione e le loro proprietà chimiche sono in numero indefinito. È bensì vero che si annoverano sino ad ora 63 corpi elementari, 51 dei quali sono *metallici*, e gli altri 12 non metallici o *metalloidi* (§ 76), dalle cui combinazioni a due a due, a tre a tre ecc., e con diverse proporzioni risulta l'indefinito numero di materie che si riscontrano in natura o si ottengono dall'arte. Fra i metalloidi, due sono solidi, il *carbonio* e il *boro*, che sinora non furono fusi nè volatilizzati anco alle temperature più elevate. Il carbonio però sotto l'azione del calore della pila e del calore solare è stato ultimamente fuso e volatilizzato (1). Quattro altri, l'iodio, il selenio, il solfo e il fosforo, sono egualmente solidi, ma si fondono con somma facilità. Un solo è liquido alla temperatura ordinaria, ed è il bromo. Quattro si presentano allo stato aeriforme, cioè l'ossigeno, l'azoto, l'idrogeno e il cloro, alcuni dei quali vennero liquefatti sotto grandi pressioni ed a basse temperature. Il fluoro non ha potuto essere isolato che imperfettamente dai corpi coi quali è intimamente combinato. In quanto ai metalli parecchi di essi s'incontrano di rado in natura, gli altri sono abbastanza noti pei bisogni della nostra scienza.

I composti di cui più d'ogni altro interessa conoscere la costituzione chimica, sono l'aria (§ 588) e l'acqua (§ 500) come quelli che sono universalmente sparsi in natura ed intervengono in un gran numero dei fenomeni.

Nozioni chimiche.

725. Non tenendo conto delle esalazioni che si diffondono nell'atmosfera per decomposizioni e nuove composizioni prodotte dal

(1) *Annali di fisica* ecc., seconda serie, t. II, pag. 263 e t. III, pag. 52.

calorico, da fermentazioni, da effervescenze e da diverse operazioni chimiche, e che si frammischiano ad essa in uno stato accidentale e labile; l'aria si compone essenzialmente di due gas particolari ben distinti per le loro proprietà chimiche. Allo scopo di accertarsi, con un semplice sperimento, che l'aria è formata di due differenti fluidi elastici, si collochi una candela accesa sopra una laminetta di sovero galleggiante sull'acqua, che è contenuta in un recipiente, e si copra con una campana di vetro piena d'aria allo stato ordinario. Disposto in tal maniera l'esperimento, si faccia attenzione alla fiamma che si vedrà perdere a poco a poco della sua vivacità, poscia indebolirsi, ed alfine spegnersi del tutto. In quest'operazione l'acqua, che chiude la bocca della campana, si sarà innalzata di quasi 1|5 dell'altezza della campana medesima, il che prova essere stata diminuita la massa d'aria in essa contenuta; diminuzione che avviene quando quel fluido ha ripreso la primitiva temperatura, e che può dipendere soltanto dal consumo avvenuto nella combustione della materia della candela. Si trova inoltre che l'aria rimasta non è più atta alla combustione, spegnendosi i corpi accesi che in essa s' immergono, e non serve altresì più alla respirazione trovandosi che un animale a sangue caldo posto in quell'ambiente diventa ben presto asfittico e muore.

S' introduca ora nella campana nuov' aria, e si rinchiuda in essa nello stesso modo qualche animale a sangue caldo, p. e. un pollo: dopo un certo tempo si osserva che l'animale prova difficoltà nella respirazione, e le sue forze s' illanguidiscono e finalmente muore. Avanti le scoperte intorno alla costituzione differente dei gas si credeva che la morte fosse cagionata dall'aria viziata per le esalazioni cutanee; ma osservandosi un consumo di fluido, il quale, come nella precedente sperienza, è indicato dall' innalzamento dell'acqua nella campana; e d'altronde spegnendosi un lume posto nella rimanente aria, conviene conchiudere che l'animale ha consunto quell'aria che serve alla vita ed alla combustione, e per una tale privazione ne avvenga la morte.

Da questi due ovvii esperimenti risulta dunque che l'aria nel suo stato ordinario contiene due sostanze distinte: l'una che alimenta la combustione e la respirazione, e l'altra che non è acconcia a quelle operazioni della natura. Siccome poi l'acqua s' innalza nella campana di quasi 1|5, così l'aria consumata nella combustione e nella respirazione è circa 1|5 della totale, mentre la rimanente risulta i 4|5: perlocchè i due fluidi componenti l'aria atmosferica vi entrerebbero nel rapporto di 1 : 4; vale a dire che 1 parte di essa

è atta alla combustione ed alla respirazione, e 4 parti costituiscono un'aria inetta a quelle operazioni. Il primo dei due fluidi componenti venne per ciò chiamato *aria vitale* e in seguito *gas ossigeno* per la proprietà che ha di generare gli ossidi e gli acidi, e il secondo *aria mefitica* o *gaz azoto* o mioidiale, e poscia *gas nitrogeno* per essersi scoperto il radicale dell'acido nitrico.

726. Non è però in tal maniera che si giunge all'esatta determinazione dei due fluidi componenti l'aria, sviluppandosi sempre nella combustione e nella respirazione animale del gas acido carbonico, il quale è soltanto e in parte assorbito dall'acqua, e la scienza adopra processi più rigorosi per istabilire il rapporto con cui i due gas entrano nella composizione dell'aria. Lavoisier introdusse del mercurio in una storta, che sottopose all'azione del fuoco. Questa comunicava per mezzo di un tubo con una campana piena di aria chiusa da un bagno di mercurio. Dopo alcuni giorni trovò che l'aria era scemata di volume e il mercurio accresciuto di peso, essendosi formata una materia rossa che era ossido di mercurio. L'aria rimasta non era più atta nè alla combustione nè alla respirazione; e la materia rossa sottoposta ad un calore più intenso diede per risultato del mercurio corrente ed un fluido elastico eminentemente atto alla combustione ed alla respirazione. In tal modo egli provò che l'aria è composta dei due gas ossigeno ed azoto.

Le sperienze dirette a determinare il rapporto preciso dei due gas componenti l'aria furono istituite in diversi modi e ripetuti da parecchi distinti chimici e fisici colla maggiore accuratezza possibile (1). Ultimamente Dumas e Boussingault hanno impiegato il rame puro in istato d'incandescenza per levare l'ossigeno all'aria, e con la maggior diligenza e con apparecchi i più delicati hanno stabilito in volume e in peso le quantità con cui entrano a comporre quel fluido. Essi trovarono che l'aria atmosferica, depurata da tutte le esalazioni eterogenee che può contenere e presa allo stato normale, si compone come segue (2);

		in volume		in peso
Gas ossigeno	—	20, 81	—	23, 01
Gas azoto	—	79, 19	—	76, 99
Aria atmosferica	—	100, 00	—	100, 00

(1) Un metodo spedito e semplice per l'analisi dell'aria trovasi descritto negli *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, tom. XXIII, pag. 254.

(2) Vedi gli *Annali* suddetti, tom. V, pag. 188.

Da cui si deduce che i due gas ossigeno ed azoto entrano a comporre l'aria atmosferica nel rapporto prossimo in volume di 1 a 4 e in peso di 23 a 77. Le proporzioni sono in generale le medesime per tutti i luoghi della terra e delle regioni elevate dell'atmosfera, come si è trovato per quest'ultimo caso analizzando l'aria raccolta in palloni aerostatici; se vi ha qualche eccezione è dovuta all'influenza di qualche causa particolare.

727. L'acqua è pure un composto, e Felice Fontana fu il primo a dimostrare che il gas idrogeno si ritrae da quel liquido, giacchè egli, avanti che ne fosse direttamente provata la composizione, così scriveva: — È mirabile che si ottenga dell'aria infiammabile tuffando il carbone acceso anche nell'acqua distillata (1). — La scoperta dei principii costituenti l'acqua distingue una delle epoche più memorabili della chimica, e la cognizione della natura di questo liquido riesce di gran sussidio nello studio dei fenomeni della fisica.

Per decomporre l'acqua si prende un tubo di porcellana, che si empisce di ritagli di ferro e si dispone a traverso un fornello; una sua estremità comunica con una storta di vetro contenente dell'acqua che si fa evaporare, ed all'altra si unisce un tubo ricurvo, che mette capo nel bagno, su cui è riposto il recipiente per ricevere le sostanze aeriformi che dovessero svilupparsi. Si accendano i carboni del fornello, si riscaldi il tubo di porcellana al calor rosso, e si metta in ebollizione l'acqua nella storta. Il vapore si fa strada pel tubo e viene a contatto col ferro incandescente: a questa elevata temperatura, l'ossigeno del vapore acqueo si combina col ferro e produce un ossido di questo metallo, mentre rimane libero il gas idrogeno che passa nel recipiente destinato a raccoglierlo. — Con un processo somigliante si fece conoscere da Lavoisier per la prima volta, in una maniera semplice ed evidente, essere l'acqua composta da' due gas idrogeno ed ossigeno. Si confermò anche colla sintesi infiammando un miscuglio dei due gas per avere la loro combinazione, e si ebbe per prodotto una quantità d'acqua eguale in peso alla somma di quelli dei due fluidi.

Dumas ultimamente (2) ha intrapreso nuove sperienze sulla composizione dell'acqua ed ha posto a severo esame i risultamenti più accreditati conosciuti. Egli ha fatto uso in queste indagini tanto del-

(1) Vedi *Opuscoli scientifici* di Felice Fontana, edizione posteriore di Napoli del 1787, pag. 59.

(2) *Annali di fisica, chimica* ecc. più volte citati, tom. XIII, pag. 246.

l'analisi quanto della sintesi; nella prima per levare l'ossigeno si serviva del rame incandescente. L'acqua secondo questo autore si compone in peso di 1 parte d'idrogeno ed 8 d'ossigeno, o in volume di 2 parti d'idrogeno ed 1 d'ossigeno.

L'idrogeno per le arti si estrae ordinariamente dall'acqua, come si è veduto di quello per empire gli aerostati, dove lo zinco e il ferro, con l'ajuto dell'acido solforico, s'impossessano dell'ossigeno, e lasciano libero l'idrogeno, che entra nel pallone (§ 654).

728. L'*ossigeno* è insipido, inodoro, molto diffuso in natura facendo parte di molti composti: si è veduto che l'aria e l'acqua lo contengono come elemento, fa parte di tutti i corpi organici, animali e vegetali, e di molti corpi minerali. Una delle proprietà caratteristiche dell'ossigeno è la grande attitudine per sostenere la combustione ed essere il principio costitutivo degli ossidi e degli acidi. Diremo della prima proprietà parlando del calorico, intanto facciamo conoscere come si ricava e si raccoglie isolato per le sperienze. L'ossigeno si estrae più o meno facilmente dagli ossidi e da qualche sale. Il deutossido di mercurio, il perossido di manganese, il clorato di potassa sono composti, da cui comunemente si estrae l'ossigeno.

Il deutossido di mercurio, che è una materia rossa, si colloca in una piccola storta di vetro o di terra cotta o grès, congiungendone il collo con un tubo di vetro che metta capo in un'ampolla o in una campana piena d'acqua e rovesciata sopra un bagno dello stesso liquido. Si applica il fuoco di carboni sotto la storta, che si avviva gradatamente, e ad un certo grado di calore si sviluppa del gas ossigeno, che si raduna nel recipiente di vetro. Bastano 90 in 100 grammi di deutossido per ottenere ossigeno in quantità sufficiente per parecchie sperienze nella scuola.

Il perossido di manganese richiede un calore più intenso, e per l'estrazione del gas è necessario far uso della storta di grès o di terra cotta. Se ne facilita lo sviluppo mescolando il perossido con acido solforico diluito d'acqua. A tal fine s'introducono nella storta 50 grammi di perossido polverizzato, 30 grammi di acido solforico concentrato ed altrettanta acqua, che si avrà cura di aggiungere a piccole dosi, agitando ogni volta il miscuglio, affine di evitare lo sprigionamento troppo rapido di calorico procedente dalla mescolanza dell'acido con l'acqua.

Il clorato di potassa somministra dell'ossigeno più puro che nei due precedenti processi: si mette il sale in una storta e ad un mediocre calore si fonde, poscia bolle, si decompone e lascia sfuggire

molto ossigeno, e il sale diventa cloruro di potassa. Con 10 in 12 grammi di clorato in una piccola storta e col calore d'una lampada ad alcoole, si estrae dell'ossigeno per alcune sperienze.

729. Il ferro, il fosforo, i legni e tutte le materie combustibili abbruciano nel puro ossigeno con una somma attività sviluppando una luce abbagliante. Il ferro abbruciato presenta un composto fragile, che facilmente si riduce in polvere ed è ossido di ferro. Il fosforo, unito coll'ossigeno nella combustione, dà luogo all'acido fosforico; lo stesso è del solfo.

L'ossigeno si unisce ai corpi sotto differenti temperature; ed è perciò che parecchi metalli esposti all'ossigeno dell'aria si ossidano, dando luogo a ciò che volgarmente si chiama *ruggine*. Per impedire questa corrosione si sogliono i metalli esposti all'aria coprire con vernici. — Parimenti il vino ed altri liquidi, tenuti esposti all'aria per qualche tempo e ad una temperatura un poco calda, diventano acidi. S'intende quindi come la solforazione impedisce al vino di diventare acido: il solfo abbruciato consuma l'ossigeno, che si trova nella botte e toglie così il principio acidificante.

Le carni salate, le frutta candite collo zucchero, altre materie immerse nello spirito di vino ed in altri liquidi si difendono dalla putrefazione, e debbono tale proprietà alle particelle saline o alle sostanze, da cui sono investite e penetrate, che impediscono l'azione dell'ossigeno. Le uova si conservano pure inverniciandole (§. 66) o tenendole immerse in qualche liquido o semi-liquido. La maggior parte delle frutta e delle sostanze fermentabili si conservano per lungo tempo nel vuoto, dove è tolta la presenza dell'ossigeno. Il processo di Appert per conservare le sostanze alimentari è un'utile applicazione di tal principio.

730. Il *gas azoto* non è, come si disse, atto nè alla combustione nè alla respirazione. Tali caratteri però sono comuni a parecchi altri gas, e la proprietà distintiva di esso è quella di essere la base dell'acido nitrico, per cui venne appellato anche nitrogeno.

Questo gas si ottiene mediante la combustione del fosforo nell'aria atmosferica, levandone l'ossigeno. I solfuri, tenuti in bocce chiuse a contatto con l'aria atmosferica, ne assorbono pure l'ossigeno e lasciano solo l'azoto. L'azoto si ottiene molto puro togliendo l'ossigeno all'aria coll'assorbirla per un tubo arroventato, dove trovansi dei ritagli di rame. Il gas azoto si estrae altresì dal nitrato di ammoniaca: si fa fondere in una storta una certa quantità di nitrato d'ammoniaca mescolato con piccoli pezzi di zinco; questo metallo

decompone l'acido nitrico del sale e dà luogo ad uno sviluppo d'azoto e d'ammoniaca. Il miscuglio aeriforme si fa passare poscia a traverso l'acqua contenuta in alcune bocce, e in questo passaggio il gas ammoniaco è assorbito dall'acqua, mentre l'azoto rimane libero e si raccoglie in recipienti appositi.

L'azoto puro è senza azione sopra quasi tutte le materie note; per cui riesce comodo per conservare dentro di esso quei corpi, che risentono l'azione dell'ossigeno dell'aria e dell'acqua, trovandos essi circondati da un'atmosfera d'azoto, che ha su di loro veruna azione.

Nell'aria il gas nitrogeno ha l'ufficio di moderare l'azione troppo rapida dell'ossigeno nella combustione e nella respirazione. Esso forma parecchi composti entrando a far parte di tutti i corpi del regno animale, e riscontrandosi eziandio in quelli del regno vegetale. Nell'aria v'entra allo stato di semplice mescolanza con l'ossigeno; ma chimicamente combinato con questo gas dà luogo alla formazione di alcuni ossidi ed acidi. Il deutossido d'azoto s'impiega utilmente nella conservazione delle sostanze animali, chiudendole in vasi di vetro riempiuti del medesimo. Esso si ottiene trattando l'acido nitrico col mercurio. L'ammoniaca è un composto d'azoto e d'idrogeno e si chiama perciò anche azoturo d'idrogeno; il cianogeno invece si compone d'azoto e di carbonio.

731. Un fluido aeriforme molto sparso in natura, allo stato di combinazione ed anche libero, e di grande interesse per la parte che prende in parecchi fenomeni della fisica, è il *gas idrogeno*. Esso entra come componente in tutti i corpi vegetali ed animali, e principalmente nelle materie oleose e grasse che se ne traggono; come costituente dell'acqua si trova spesso combinato con altre sostanze in vicinanza alle paludi ed alle acque stagnanti. Estingue i corpi in combustione, mentre esso medesimo è combustibilissimo. In un cilindro di vetro, pieno di gas idrogeno, tenuto colla bocca rivolta all'ingiù, se s'introduce con prestezza un cerino acceso, esso si spegne. Nel fare questa sperienza bisogna usare una certa cautela perchè se all'idrogeno si trova mescolato dell'aria atmosferica, esso forma con l'ossigeno di questa un miscuglio, che detona con grande rumore.

Il gas idrogeno per la sua grande combustibilità si chiamava per lo passato aria infiammabile e da Brugnatelli *gas flogogeno*; cioè generatore della fiamma; giacchè nei corpi combustibili la fiamma è prodotta da questo gas che essi sviluppano, o da vapori in cui en-

tra per componente. Esso si estrae dall'acqua, alla quale si toglie l'ossigeno, come si disse, mediante lo zinco o il ferro con l'aiuto dell'acido solforico (§. 727); come pure dai vegetali e da materie animali colla semplice azione del fuoco. In questo caso però non è mai puro e si trova combinato o semplicemente mescolato con sostanze eterogenee. Da un cannellino in comunicazione con una vescica o con un gazometro pieno d'idrogeno, facendo sboccare una corrente di questo gas, esso si accende e somministra una fiamma, che fu chiamata *candela filosofica*, perchè ritrovata dalla scienza. L'illuminazione a gas si ottiene con correnti d'idrogeno carburato, che sboccano dai beccucci delle lanterne disposte a tale scopo. Vedremo che Volta ha imaginato un accendilume a gas idrogeno, dove l'infiammazione è prodotta dalla scintilla elettrica.

L'idrogeno mescolato con l'ossigeno nel rapporto in volume di 2 : 1 forma il *gas tonante*, vale a dire un fluido che s'infiamma con fragoroso scoppio. Si può fare l'esperienza introducendo i due gas in una vescica munita d'un cannello, pel quale si fa passare in corrente attraverso acqua saponata, formandosi delle bolle, che all'accostarvi un candelino acceso detonano con fortissimo strepito. In quest'esperienza, per l'unione dei due gas, si forma istantaneamente l'acqua, e rimane quindi uno spazio vuoto, dove l'aria circostante si precipita, si urta e vibra generando all'intorno delle ondulazioni e producendo un suono rumoroso. La detonazione si ha anche con un miscuglio di 1 volume d'idrogeno e 3 d'aria atmosferica.

532. Nella combinazione dell'idrogeno col solfo si ha l'*acido solfidrico* chiamato altre volte *gas idrogeno solfurato* o *gas idrosolforico*. Questo gas è incoloro, come la maggior parte dei fluidi elastici, ed ha un odore somigliante a quello delle uova fracide e così penetrante e disaggradevole, che riesce insopportabile. I chimici antichi l'avevano denominato *gas epatico* dall'odore fetido, che tramanda. Esso ha una grand'azione sui corpi organici, essendo micidiale agli animali ed ai vegetali. L'acido solfidrico si prepara trattando a caldo il solfuro d'antimonio con l'acido cloridrico liquido. In generale la maggior parte dei solfuri metallici trattati con qualche acido diluito somministrano il gas solfidrico. Impastando con acqua della limatura di ferro ben fina e del solfo in polvere, il miscuglio si trasforma ben presto in protosolfuro ferrico idrato. Questo solfuro, sepolto sotto terra a non molta profondità, manifesta a capo di alcuni giorni una reazione fra i suoi componenti: l'acqua si decompone e il suo idrogeno si combina col solfo formando il gas solfidrico, che apre nella

terra delle fenditure, per le quali esala nell'atmosfera. Avvicinando a queste esalazioni un lume acceso, esse s'infiammano e presentano lo spettacolo di correnti di fuoco uscenti dalle viscere della terra.

Con l'idrogeno e il fosforo si hanno due composti, il *gas idrogeno perfosforato* e il *protofosforato*, secondo che contiene più o meno fosforo. Ambidue non hanno colore e spandono un odore particolare somigliante a quello del pesce fracido. Il primo differisce notabilmente dal secondo posto in presenza dell'aria e dell'ossigeno. L'ultimo può essere mescolato con questi due fluidi elastici alla pressione ordinaria, senza che si manifesti veruna reazione. Il primo invece dà luogo in tale mescolanza ad una rapida formazione d'acqua e di acido fosforoso con isviluppo di luce e di calorico. Lasciando sfuggire il gas idrogeno perfosforato attraverso l'acqua, s'innalza nell'atmosfera in una vampa di fuoco e presenta lo spettacolo d'una fiamma, che sembra sorgere dall'acqua, mentre a dir vero si accende al momento che viene a contatto dell'aria. L'acido fosforoso, formatosi in tale reazione, s'eleva esso pure in vapori bianchi, che prendono spesso la forma d'un anello, il quale va estendendosi sinchè scompare. Il gas idrogeno perfosforato introdotto nell'ossigeno puro, s'infiamma con sorprendente vivacità, e produce una luce abbagliante.

Per l'esperienza nella scuola il gas idrogeno perfosforato si ottiene con una mescolanza di calce, fosforo ed acqua, sottoposta all'azione del calore. Si riduce la calce in polvere e poscia vi si aggiunge tant'acqua per formarne una specie di densa poltiglia, cui si mescola $\frac{1}{12}$ in peso di fosforo tagliato in piccoli pezzi sott'acqua. Il miscuglio s'introduce in una piccola fiala, al cui collo si adatta con tappo di sovero un tubo ricurvo che con l'altra estremità s'immerge nell'acqua. Con qualche carbone ardente si riscalda dolcemente la fiala e ad un tal calore si sviluppa il gas. Nel giungere a contatto dell'aria contenuta nella fiala il gas abbrucia; ma la combustione cessa tosto che è stato consumato l'ossigeno e si accende soltanto al momento che sfugge dall'acqua e viene a contatto coll'aria esterna. Si può estrarre il gas anche mettendo in una fiala, della capacità di $\frac{1}{4}$ ad $\frac{1}{5}$ di litro, acido cloridrico del commercio una parte e tre d'acqua spogliata d'aria coll'ebollizione. S'introduce con prestezza nel liquido del fosfuro di calce in pezzetti e si versa l'acqua rimanente per riempiere interamente la fiala. Disposto così il tutto si

sottopone la fiala ad un lieve calore, e ben presto si sviluppa il gas idrogeno perfosforato.

Il gas idrogeno si combina in diverse proporzioni col carbonio e forma dei *gas idrogeni* più o meno *carburati*. Di questa classe è il gas illuminante: essi non si infiammano però come il perfosforato al semplice contatto con l'aria, essendo necessario un lume acceso od un carbone ardente.

733. Un fluido aeriforme, che si sviluppa in parecchie operazioni della natura per entrare in nuove combinazioni, è il *gas acido carbonico*. Esso infatti si forma nella combustione e nella respirazione animale, nelle fermentazioni vinose e in parecchi altri casi, ed è assorbito da altre sostanze, cui dà un sapore piccante, aggradevole e ristorativo, come sono parecchie acque minerali, la birra, i vini spumanti, dove è contenuto. Agitando quei liquidi o ponendoli all'azione del fuoco, essi sviluppano in maggior copia questo gas. Tutti i carbonati, come i marmi e molte pietre, hanno per componente l'acido carbonico; talchè si ricava dai medesimi colla reazione di altri acidi più potenti. Si riduce in polvere del marmo bianco, che è un carbonato di calce, e se ne mette una certa quantità in una boccia con un poco d'acqua; si versa dell'acido solforico e si ha uno sviluppo abbondante di gas acido carbonico. L'acido solforico si combina colla calce e forma il solfato di calce, rimanendo libero il gas acido carbonico, che si conduce con un tubo sotto il recipiente per raccoglierlo sull'apparato pneumato-chimico.

Avendo il gas acido carbonico un peso specifico molto maggiore dell'aria (§. 617), esso, prima di diffondersi uniformemente (§. 622), tende a portarsi nei luoghi bassi della terra e si può travasare ed attignere al cannello d'una botte come il vino. È in tal modo che nel tempo della svinatura si accumula portandosi verso il suolo della cantina; e per essere non solo inetto ma nocivo alla respirazione, può esso riuscire fatale a chi incautamente dimora in luoghi, dove si trovano molti tini d'uva in fermentazione. Per l'egual ragione è pericoloso tenere carboni ardenti nelle stanze, dove si dorme; e parecchi individui furono vittima di questa loro sconsideratezza. In un'atmosfera di questo gas si mantengono fresche le carni, e d'estate, lavandole almeno una volta al giorno in acqua impregnata del nominato gas acido, si conservano per 10 e più giorni.

734. Un altro gas semplice, molto sparso in natura allo stato di combinazione, è il *cloro*. Primieramente diremo che versando dell'acido solforico sul sale di cucina, si sviluppa un gas acido cloro-

sciuto comunemente sotto il nome di *acido marino* o *muriatico*. Quest'acido è composto di cloro e d'idrogeno, e si chiama perciò nella scienza *acido idroclorico* o *cloridrico*. Esso ha una grandissima affinità per l'acqua, che l'assorbe avidamente, e forma l'acido cloridrico liquido.

Si prendano 10 parti in peso di questo acido cloridrico e 3 di perossido di manganese polverizzato, e si mettano in una fiala di tale ampiezza da empirne non più della metà, e si applichi un moderato calore con alcuni carboni ardenti in un fornello: si sviluppa ben presto un gas che per un tubo ricurvo si conduce verso il vaso, dove si raccoglie. Questo gas è il cloro, che si conosce al colore ed all'odore disaggradevole e molesto. In tale operazione l'ossigeno del manganese si è unito all'idrogeno dell'acido cloridrico, lasciando libero il cloro.

Il cloro inspirato irrita il polmone, produce la tosse e fa provare una sensazione di soffocamento. I colori vegetali vengono distrutti da questo gas, come si può provare colla tintura di laccamuca agitata in una boccia piena di cloro. Si unisce all'idrogeno sotto l'influenza della luce solare formando l'acido cloridrico. Se si facciano cadere dei raggi solari sopra un ampolla piena d'un miscuglio di quei due gas, si ha una forte detonazione; per cui nel fare lo sperimento bisogna prendere tutte le cautele.

Per la sua azione sulle materie idrogenate, il cloro è molto atto all'imbiancatura delle tele e dei tessuti. Questo gas serve anche ne suffumigi per purgare i luoghi infetti dai miasmi pestilenziali. Esso sembra avere grande affinità coi principii pestilenziali, coi quali genera dei composti neutri affatto innocui.

Il cloro è sparso in gran quantità nella natura, ma in istato di combinazione. Le acque del mare contengono molto sale, di cui fa parte il cloro, esso è uno degli elementi più energici, per cui difficilmente si trova in natura allo stato libero.

Digitized by Google

INDICE DEL TOMO PRIMO.

PREFAZIONE . . . . . Pag. v

INTRODUZIONE . . . . . » 1

Fisica; materia; corpo §. 1. — Atomo; molecola; universo sensibile o materiale; fenomeno; proprietà §. 2. — Sostanza §. 3. — Tre regni della natura; corpi organici; forza organica o vitale §. 4. — Scienza della natura §. 5. — Diramazione della medesima §. 6. — Le scienze non hanno fra loro limite §. 7. — Attrazione molecolare §. 8. — Varia nei differenti corpi §. 9. — Corpi solidi, liquidi, aeriformi; loro caratteri; fluidi elastici ed inelastici §. 10. — Fluidi imponderabili §. 11. — Corpi duri, molli, fragili, duttili, malleabili, friabili §. 12. — Operazioni meccaniche per vincere l'attrazione; corpi omogenei §. 13. — Azioni chimiche per vincere l'attrazione §. 14. — Decomposizione chimica e divisione meccanica §. 16. — Corpi semplici presso gli antichi §. 17. — Oggetto della chimica §. 18. — Affinità d'aggregazione e di combinazione §. 19. — Coesione nei diversi corpi §. 20. — Affinità nei corpi §. 21. — Soluzione; saturazione §. 22. — Dissoluzione §. 23. — Amalgama §. 24. — Infusione e decozione §. 25. — Ristabilimento dell'attrazione molecolare §. 26. — Metodi per operare le composizioni e le decomposizioni §. 27. — Cristallizzazione §. 28. — Precipitazione; sublimazione; gassificazione §. 29. — Osservazione ed esperienza; suppellettile e gabinetto di fisica §. 30. — Fatto; arte del fisico; causa fisica o legge di natura §. 31. — Cause dei fenomeni §. 32. — Regole per studiare la fisica §. 33. — Proprietà generali e particolari; divisione della fisica §. 34. — Grandi fenomeni della natura; fisica cosmologica §. 35. — Utilità della fisica §. 36.

PARTE PRIMA.

DELLA FISICA GENERALE . . . . . » 20

Proprietà generale della materia; loro divisione; scompartisione della fisica generale §. 37.

CAPITOLO PRIMO.

DELLE PROPRIETA' GENERALI STATICHE . . . . . » 20

Proprietà statiche primarie e secondarie; divisione del capitolo §. 38.

Sezione I. *Delle proprietà statiche primarie.* . . . . . Pag. 21

Estensione §. 39. — Diverse specie d'estensione presso i geometri; corpo fisico e geometrico; misura dell'estensione §. 40.—Metro; multipli e submultipli §. 41. — Misure di superficie §. 42. — Misure di volume §. 43. — Pesi metrici §. 44. — Monete metriche §. 45. — Figurazione §. 46. — Figurazione nei cristalli e negli atomi §. 47. — Figurazione nei corpi organici ed inorganici §. 48. — Figurazione per classificare i corpi §. 49. — Incompenetrabilità §. 50.—Ogni resistenza ci avvisa dell'incompenetrabilità; sperienza pei fluidi §. 51. — L'impenetrabilità differisce dall'incompenetrabilità §. 52. — Impermeabilità §. 53. — Coercibilità ed incoercibilità §. 54.—Campana de' palombari §. 55. — Fatti che sembrano opporsi all'incompenetrabilità §. 56. — Le tre proprietà precedenti sono i caratteri dei corpi, e principalmente quest'ultima; prove §. 57.—Porosità §. 58. — I pori si vedono in alcuni corpi ad occhio nudo, in altri col microscopio §. 59. — Nei corpi s'internano dei liquidi o ne sono attraversati, il che prova la loro porosità; applicazione a colorire i marmi §. 60. — Sperienza del mercurio e dell'aria che attraversano il legno; coloramento e conservazione dei legni §. 61. — Acqua ed altri liquidi attraverso i metalli ed altri corpi §. 62. — L'aria in tutti i solidi prova la loro porosità §. 63. — I liquidi contengono pure dell'aria §. 64. — Fenomeni dipendenti dalla porosità §. 65. — Altri fenomeni ed applicazione per conservare i corpi §. 66. — Materie che disseccano per la porosità; applicazione alle arti §. 67.— Gli animali ed i vegetali offrono esempi della porosità; porosità nei corpi viventi §. 68. — Porosità della cute umana; traspirazione §. 69. — Numero dei pori nella cute §. 70. — Attrazione è di tre specie §. 71. — Ripulsione §. 72. — Le tre specie d'attrazione sono lo scopo di diverse scienze §. 73. — Alcuni esempi d'affinità per analizzare §. 74. — Alcuni esempi d'affinità per comporre §. 75. — Scopo dell'analisi; numero degli elementi conosciuti; nomenclatura §. 76. — Adesione §. 77. — Adesione fra due solidi con l'interposizione d'un liquido §. 78. — Esempi dell'adesione di solidi §. 79. — Maniera di misurare l'adesione; influenza della pressione dell'aria §. 80. — Fenomeni dipendenti dall'adesione; indorare con foglie d'oro §. 81. — Adesione fra solidi e liquidi §. 82. — Adesione dei metalli col mercurio §. 83. — Indoratura coll'intermedio del mercurio §. 84.—Adesione del solido col liquido e coesione di questo; fenomeni §. 85. — Temperatura nell'adesione; azione capillare in che consiste §. 86. — Fenomeni dipendenti dalla prevalenza o non prevalenza dell'adesione sulla coesione §. 87. — Fenomeni dipendenti dall'adesione §. 88. — Alcuni fatti importanti sull'adesione §. 89.—Considerazioni su questi fatti §. 90. — Altri fenomeni dell'adesione §. 91. — L'adesione, come un caso particolare dell'attrazione generale, ha luogo anche fra altri corpi §. 92.—Imagini prodotte sui corpi dipendenti dalle dottrine dell'adesione §. 93. — Altri fenomeni d'imagini consimili §. 94. — Applicazione di questi fatti alle arti §. 95. — Imagini consimili prodotte sotto l'influenza dei fluidi imponderabili §. 96. — Causa di questi fenomeni §. 97. — Fenomeni di alterata adesione pel calorico §. 98. — Fenomeno consimile nei livelli a bolla d'aria §. 99. — Fenomeno nei corpi arroventati; stato sferoidale §. 100. — Fenomeno consimile nelle machine a vapore §. 101.—Alcuni moti giratori dipendenti da queste dottrine §. 102. — Liquidi nei tubi capillari §. 103. — Causa di questo fenomeno §. 104. — Maniera di spiegarli §. 105. — Sperienze coi tubi capillari §. 106. — Apparato pei fenomeni capillari nella scuola §. 107.—Sperienze negli spazi capillari §. 108. — Fenomeni dipendenti dalla capillarità §. 109. — Altri fenomeni dipendenti dalla capillarità §. 110. — Avvicinamento ed allontanamento di corpi, dipendenti dalla capillarità §. 111. — Fenomeni ed effetti diversi che ne dipendono §. 112.—Altri effetti prodotti dall'azione capillare §. 113.—Suc-

chia nei canaletti delle piante §. 114. — Endosmosi ed esosmosi §. 115. — Fatto d'endosmosi già conosciuto da molto tempo §. 116. — Endosmosi nei fluidi aeriformi §. 117. — Causa dell'endosmosi §. 118. — Endosmosi nell'economia animale §. 119. — Gravità §. 120. — Fatti che comprovano essere la gravità la conseguenza dell'attrazione §. 121. — Linea a piombo o verticale; orizzontale; due verticali sono convergenti al centro della terra; quando si considerano sensibilmente parallele §. 122. — Eguale velocità dei gravi cadenti; sperienza; martello filosofico §. 123. — Gravità semplice; gravità totale o quantità di gravità; peso; massa §. 124. — Ragione della gravità colla distanza §. 125. — La gravità può considerarsi per le altezze ordinarie una forza costante §. 126. — Gravità specifica; rapporti §. 127. — Gravitazione; fatti che provano la gravitazione §. 128. — La gravitazione è pure in ragion inversa della distanza; leggi di Keplero come conseguenza di quella delle distanze §. 129. — Comete sottoposte alle leggi della gravitazione; potenza universale di cui è dotata la materia §. 130.

Sezione II. *Delle proprietà statiche secondarie.* . . . . . *Pag.* 83

Proprietà statiche secondarie §. 131. — Condensabilità §. 132.—Rarefattibilità §. 133. — Termometro §. 134. — Densità; rapporti §. 134. — Relazione fra densità e gravità specifica §. 136. — Unità di misura per la densità; corpo il più denso e il meno denso in natura §. 137. — Maniere di determinare la densità dei corpi §. 138.—Diverse specie di vacuo §. 139. — Divisibilità §. 140. — Maniera di dividere i corpi §. 141. — La divisibilità reale è limitata; essa però è portata ad un punto sorprendente §. 142. — Alcuni apparati dipendenti dalla divisibilità; vite micrometrica §. 143. Nonio §. 144. — Scala tecnica §. 145. — Coltello microtomo §. 146.— Esempi di somma divisibilità tratti dall'arte del battiloro e filaloro: grossezza dello strato che copre l'oggetto dorato §. 147. — Osservazioni intorno a questa somma tenuità dei metalli §. 148. — Esempi della somma divisibilità tratti dalle arti del tintore e del profumiere; sorprendente divisibilità del muschio §. 149.—Tenuità delle dosi nella medicina omeopatica; osservazioni §. 150. — Esempi della grande divisibilità tratti dal regno animale §. 151. — Maniera di ottenere gli animaletti microscopici; grossezza del filo di lana, di seta, di tela di ragno §. 152. — Necessità di questa tenuità di parti per le operazioni della natura e dell'arte §. 153. — Rapporto fra la superficie delle parti e il numero delle stesse in cui è diviso un corpo §. 154. — Considerazioni intorno alla divisibilità in rapporto alla costituzione della materia §. 155. — Fenomeni dipendenti dalla tenuità delle parti d'un corpo; sperienza dell'inchiostro simpatico; altri fenomeni consimili §. 156. — Maniera di diffondersi dei germi pestilenziali; machina per raccogliere questi germi; altro processo a tale scopo §. 157. — Compressibilità §. 158. — Dipende dalla porosità §. 159. — Compressibilità di alcuni solidi; compressione dei legni in fondo del mare §. 160. — Compressibilità dei liquidi §. 161. — Vantaggio per la poca compressibilità dei liquidi §. 162. — Grande compressibilità degli aeriformi; la compressione ha un limite; gli atomi della natura non devono essere compressibili; non si comprende come un solido liquefatto perda della sua compressibilità §. 163. — Elasticità §. 164. — Elasticità per compressione §. 165. — Elasticità per flessione §. 166. — Elasticità per torsione §. 167. — Elasticità per trazione §. 168. — Apparecchi per riconoscere l'elasticità; elasticità di diversi corpi §. 169. — Vibrazioni dei corpi elastici; metodo delle vibrazioni per riconoscere l'elasticità §. 170.— Principio secondo cui si valuta l'elasticità in alcuni corpi; elasticità degli aeriformi in confronto dei liquidi §. 171. — Causa dell'elasticità §. 172. — Considerazioni sull'elasticità di alcuni corpi §. 173. — Mezzi artificiali

per accrescere o ridonare l'elasticità §. 174. — Alcuni vantaggi dell'elasticità §. 175. — Letti fatti di materie elastiche per qual ragione: pagliericci a molle; cuscini ad aria; letti ad acqua §. 176.

CAPITOLO SECONDO.

DELLE PROPRIETA' GENERALI DINAMICHE. . . . . *Pag.* 118

Proprietà dinamiche; mobilità; moto semplice e composto; divisione del capitolo §. 177.

SEZIONE I. *Del moto semplice* . . . . . » 118

Mobilità §. 178. — Meccanica dei corpi; moto §. 179. — Quiete; equilibrio; meccanica speculativa o razionale e pratica §. 180. — Forza o potenza; resistenza e peso da moversi; accidenti del moto §. 181. — Spazio, tempo e velocità §. 182. — Direzione; moto rettilineo e curvilineo §. 183. — Ostacoli, attrito, rigidezza delle funi, scontro di altri corpi §. 184. — Cambiamenti e trasformazioni che succedono pel moto; forze; conosciamo di esse soltanto gli effetti; principali forze della natura §. 185. — Forza istantanea e continuata; forza impressa e motrice; forza continuata, costante e variabile; forze vive; forze viventi §. 186. — Forza relativamente alla massa da moversi; inerzia §. 187. — Forza muscolare; varia nei diversi ed anche nel medesimo individuo §. 188. — Forza assoluta e permanente; momento statico e dinamico; animali che sussidiano l'uomo §. 189. — Dinamometro a molla spirale §. 190. — Dinamometro a molla circolare §. 191. — Dinamometro a molla elittica §. 192. — Forza delle mani misurata col dinamometro §. 193. — Forza assoluta dell'uomo nel sollevare pesi §. 194. — Forza nel portare pesi e nel tirare verticalmente dall'alto al basso §. 195. — Forza nel tirare orizzontalmente; considerazioni sulla poca differenza della forza dei diversi uomini nel tirare orizzontalmente §. 196. — Forza assoluta del cavallo, del bue, dell'asino nel tirare orizzontalmente; forza di questi animali nel portare pesi §. 197. — Forza permanente; momento dinamico come si esprime §. 198. — Forza permanente dell'uomo; buoni camminatori §. 199. — Forza dell'uomo nel portare pesi ad una certa distanza in una giornata §. 200. — Forza permanente dei mercajuoli §. 201. — Forza permanente dei soldati degli antichi Romani §. 202. — Riassunto e confronto della forza permanente dell'uomo nei differenti casi §. 203. — Momento dinamico medio dell'uomo §. 204. — Momento dinamico dell'uomo per una strada acclive e per una scala §. 205. — Momento dinamico del cavallo a vuoto §. 206. — Momento dinamico del cavallo nel portare §. 207. Momento dinamico nel tirare §. 208. — Cavallo-vapore §. 209. — Momento dinamico sulle strade di ferro §. 210. — Momento dinamico del cavallo che tira carrozze, diligenze, vettura §. 211. — Lavoro del cavallo in confronto di quello dell'uomo §. 212. — Lavoro del cavallo su diverse specie di strade §. 213. — Esperienze ed osservazioni intorno al consumo di forza dei cavalli nel percorrere ogni giorno un dato cammino §. 214. — Tavola del momento dinamico di diversi animali in differenti specie di lavoro e considerazioni relative §. 215. — Legge d'inerzia data dall'esperienza; prima legge generale del moto §. 216. — Seconda legge generale del moto 217. — Terza legge generale del moto §. 218. — Conseguenze dedotte dalla prima legge ed effetti relativi §. 219. — Moto uniforme §. 220. — Leggi del moto uniforme; valore della velocità §. 221. — I corpi sollecitati da una forza impressa dovrebbero continuare il cammino con moto uniforme §. 222. — Effetto della forza istantanea; quantità di moto §. 223. — Rapporti fra la forza, la massa e la velocità; valore della forza §. 224. — Equazioni fondamentali pel moto uniforme §. 225. — Forze eguali; ragione d'un'esperienza §. 226.

— Spiegazione di alcuni effetti delle forze che si osservano §. 227. — Scontro dei corpi in moto; comunicazione del moto; idea dell'inerzia a questo proposito §. 228. — Formole per la comunicazione del moto di due corpi che si scontrano; applicazioni §. 229. — Nelle comunicazioni del moto si richiede un certo tempo; prova di tale verità §. 230. — Fenomeno della spezzarsi delle canne da fucile, e maniera efficace per le mine §. 234. — Sperienze di Brunacci che si spiegano coi principii esposti §. 235. — Applicazione delle dottrine della comunicazione del moto; effetto della percossa §. 236. — Altre applicazioni §. 237. — Effetti dipendenti dalla comunicazione del moto §. 238. — Moto uniformemente accelerato e ritardato; relazioni fra le velocità ed i tempi §. 239. — Rapporti degli spazi nel moto uniformemente accelerato §. 240. — Dai valori della velocità e dello spazio nel moto uniformemente accelerato si deducano altre formole ad alcune leggi §. 241. — Valore della forza motrice costante §. 242. — Forza acceleratrice costante §. 243. — Formole fondamentali del moto uniformemente accelerato §. 244. — Moto uniformemente ritardato e formole che se ne deducono somiglianti a quelle dell'accelerato §. 245. — Moto verticale dei gravi; è uniformemente accelerato o ritardato; è alterato dalla resistenza dell'aria; forza acceleratrice della gravità §. 246. — Velocità debita all'altezza; valanghe; caduta del Niagara; altri fatti consimili §. 247. — Getto verticale d'un liquido e colpo di fucile tirato verticalmente in alto danno esempi del moto uniformemente ritardato; il moto perduto dal projettile nella salita lo acquista nella discesa; inutili indagini del moto perpetuo §. 248. — Problemi diversi intorno al moto dei gravi §. 249. — Macchina d'Atwood pel moto dei gravi; principio da cui dipende §. 250. — Sperienze colla macchina d'Atwood §. 251. — Altre sperienze colla stessa macchina §. 252.

SEZIONE II. *Del moto composto* . . . . . *Pag.* 188

Punto materiale; risultante e componenti §. 253. — Legge del moto composto; composizione e decomposizione delle forze §. 254. — Risultante di forze agenti secondo la stessa retta §. 255. — Risultante di due forze ed angolo §. 256. — Parallelogrammo delle forze; differenza fra eguaglianza delle forze e del loro effetto. — 257. — Prova sperimentale del parallelogrammo delle forze §. 258. — Poligono delle forze §. 259. — Apparato per esperimentare questo principio §. 260. — Risultante di tre forze non giacenti nel medesimo piano §. 261. — Valore analitico della risultante §. 262. — Rapporti delle tre forze, la risultante e le due componenti; direzione della risultante; valore analitico della risultante di più di due forze §. 262. — Decomposizione d'una forza in due altre nei diversi casi §. 264. — Decomposizione d'una forza in tre o più altre §. 265. — Il parallelogrammo delle forze serve alla spiegazione di diversi fenomeni ed effetti; alcuni esempi di queste applicazioni §. 266. — Problema della pressione esercitata dai piedi dell'uomo in diversi casi §. 267. — Direzione della forza d'un uomo che attraversa un fiume in barca §. 268. — Applicazione al nuoto dell'uomo e dei pesci, ed al volo degli uccelli §. 269. — Forza che fa muovere le navi a remi, a vela §. 270. — Forza movente nei molini a vento §. 271. — Forza della freccia dell'arco §. 272. — Macchinetta pei voli in teatro §. 273. — Altre applicazioni del parallelogrammo delle forze §. 274. Composizione di due forze parallele §. 275. — Decomposizione di una forza in due ad essa parallele §. 276. — Risultante di due forze parallele in opposto verso §. 277. — Rapporti fra la risultante e le due componenti parallele §. 278. — Composizione di tre forze parallele §. 279. — Centro delle forze parallele §. 280. — Casi differenti della decomposizione d'una forza in due parallele §. 281. — Decomposizione d'una forza in tre o in quattro parallele per alcuni casi §. 282. — Centro di gravità dipendente

dal centro delle forze parallele §. 283. — Centro di gravità dei corpi euritmetici §. 284. — Centro di gravità delle superficie piane euritmetiche §. 285. — Del triangolo equilatero, del rettangolo e del poligono regolare §. 286. — Del cerchio, dell'elisse, della parabola, e delle loro parti §. 287. —Centro di gravità d'un triangolo qualunque §. 288.—D'un poligono qualunque; d'un trapezio; d'un parallelogrammo §. 289. — Centro di gravità dei solidi; di quelli aritmetici; d'un poliedro regolare, del prisma retto §. 290.—Del cilindro; della sfera; dell'ellissoide; del paraboloide §. 291.— Della piramide triangolare §. 292.—Del cono o del tronco di cono; d'un poliedro qualunque §. 293.—Principio da cui dipendono i metodi sperimentali per trovare il centro di gravità §. 294. — Due metodi pratici per determinarlo §. 295. — Applicazione alla sospensione dei quadri, delle lumiere, degli specchi ecc. §. 296. — La stabilità dei corpi dipende dalla dottrina del centro di gravità e cresce con la base §. 297. — Campanile di Pisa e torre di Bologna che pendenti hanno una certa stabilità; considerazioni sugli edifici pendenti §. 298. — Apparato relativo alla pendenza per la scuola; stabilità del portabiti §. 299. — Stabilità di corpi sul piano inclinato §. 300. — Esperienza del paradosso meccanico; altro apparato per tale esperienza §. 301. Saltimpiedi; sfera formata di emisferi diversamente densi §. 302. — Sperienza dell'ellissoide, del cavallo ad altalena, e fenomeni consimili in natura §. 303. — Diversa stabilità dei corpi; odometro; metodo di sospensione di Cardano §. 304. — Asse in equilibrio sopra un tavolo; persona appoggiata in falso sull'asse; secchio in bilico §. 305. — L'aumento dell'altezza fa diminuire la stabilità; applicazioni di questo principio; carrozze di sicurezza §. 306. — Seranno pei fanciulli ed altri corpi alti che si rendono stabili coll'allargarne la base; tetraedro, allusione di Dante a tale stabilità §. 307. — Importanza della cognizione del centro di gravità per la meccanica usuale; applicazioni §. 308. — Centro di gravità del corpo dell'uomo; esso cambia secondo le diverse posizioni delle membra; attitudini diverse dell'uomo §. 309. — Andatura dell'uomo è la caduta del centro di gravità; andatura d'altri animali; andatura dei soldati §. 310. — Difficoltà dei fanciulli nel camminare; uomini con gambe di legno, con trampoli, colle stampelle; sdrucciolatori sul ghiaccio §. 311. — Centro di gravità nella danza; mercurio strasvolante; posizioni false nel disegno §. 312. — Applicazione ai funamboli; volteggiatori; a diversi altri atteggiamenti dell'uomo §. 313. — Uomo carico lateralmente cambia di posizione §. 314. — Carico sul dorso; esempi diversi nei lavori comuni e nella valigia del soldato §. 315. — Carico sulle braccia e pel davanti; alcuni esempi di persone di grosso ventre; accattone; carico sul dorso §. 316. — Funambolo §. 317. — Equilibrio sopra non punto §. 318. — Fantocci a centro di gravità mobile §. 319. Applicazione delle dottrine del centro di gravità e muovere un corpo e ad arrestarlo; principio della conservazione del movimento del centro di gravità; applicazione al bigliardo ed alla balistica; persona che salta da una carrozza §. 320. — Momenti; diversa specie di momenti; momento della risultante di due forze parallele §. 321. — Momento della risultante di due forze ad angolo §. 322. — Velocità virtuali §. 323. — Piano inclinato e sue parti §. 324. — Forza che fa discendere un corpo per un piano inclinato; rapporto fra la gravità relativa, la forza premente e la gravità assoluta §. 325.—Moto lungo i piani inclinati §. 326. —Rapporti degli spazi; apparato di Galilei per dimostrarne la legge §. 327. — Altro apparato per la stessa legge §. 328. — Applicazione delle dottrine del piano inclinato ad alcuni effetti §. 329. — Rapporto delle velocità pel piano inclinato e per la verticale §. 330. — Degli spazi §. 331. — Spazio descritto sul piano inclinato in confronto di quello verticale per l'altezza; diametro verticale d'un circolo e la corda percorsa da un grave nello stesso tempo; sperienze relative §. 332. — Velocità finale per un piano inclinato eguaglia quella verticale per l'altezza; essa è capace di farlo salire alla

stessa altezza; applicazioni ad alcuni effetti §. 333. — Rapporti dei tempi pel piano inclinato e per l'altezza §. 334. — Velocità per una serie di piani inclinati; per una curva; è capace di portare il mobile alla stessa altezza per altra curva; trastullo che dipende da questo principio §. 335. — Linea della più veloce discesa; sperienze §. 336. — Proprietà della cicloide percorsa dai gravi §. 337. — Rapporti delle gravità relative sopra differenti piani inclinati; delle velocità finali; degli spazi; dei tempi §. 338. — Diversi problemi sul moto dei gravi pei piani inclinati §. 339. — Forze per produrre il moto curvilineo ed esempi di esso nella natura §. 340. — Trajettoria come nasce §. 341. Forza, velocità di projezione o tangenziale; forza centripeta; centro delle forze; orbita §. 342. Rapporti delle aree ai raggi vettori; principio delle aree §. 343. — Valore della forza centrale nel circolo; rapporto tra la forza centrale e la gravità §. 344.—Forze centrifuga; forze centrali §. 345. — Velocità effettiva ed apparente; rapporti §. 346. Problemi intorno al moto d'un corpo che circola attaccato all'estremità d'un filo §. 347. — Tensione d'un filo cui è attaccato un grave, che oscilla §. 348. — Applicazione della dottrina delle forze centrali alla spiegazione dei movimenti e degli equilibri dei cavalerizzi §. 349. — Angolo sotto cui deve inclinarsi un cavallerizzo che circola con una velocità data §. 350. Confronto delle forze centrali di due masse §. 351. — Tempo periodico nelle trajettorie; rapporti fra la forza e i tempi periodici §. 352. — Legge di Keplero dedotta dalla dottrina delle forze centrali, e viceversa §. 353. — Machina delle forze centrali §. 354. — Nascimento della forza centrifuga dimostrato con questa machina §. 355. — Sperienze delle forze centrifughe in ragione delle masse §. 356. Sperienza delle forze centrifughe in ragion dei raggi vettori §. 357. — Sperienze delle masse in ragion inversa dei raggi vettori §. 358. — Apparato con cui si produce un effetto dipendente da queste leggi §. 359. — Forze centrifughe come i quadrati delle velocità ed inversa dei tempi periodici §. 360. — Forze centrali nell'inversa dei quadrati delle distanze; quadrati dei tempi periodici come i cubi dei raggi vettori §. 361. — Applicazione di queste dottrine ai movimenti dei cavalli nella cavallerizza, delle carrozze nelle voltate; alla corsa delle bighe; al moto per le curve delle strade ferrate §. 362. — Pericolo di rovesciare sulle strade colme nelle voltate §. 363.—Applicazione delle forze centrali alla spiegazione di parecchi effetti meccanici §. 364. — Applicazione ad altri effetti §. 365. — Machina idroestruttore §. 366. — Applicazione ad alcuni effetti §. 367. — Altre applicazioni e diversi effetti §. 368.—Paleo, trottolo ecc., prendipalle §. 369.—Vagliatura del grano; gorghi ecc. §. 370. — Altri effetti §. 371. — Unione del liquido nei termometri; acque nel Secchio che si rovescia; molla da camminetto che si fa ruotare §. 372. — Applicazione della forza centrifuga a giudicare della resistenza di alcune machine §. 373. — Forza centrifuga in globo rotante; nella nostra terra §. 374. Schiaccismento del nostro globo per la rotazione; sperienza §. 375. — Diminuzione della gravità nella nostra terra per la rotazione §. 376.— Rapporto tra la gravità all'equatore ed ai poli §. 377. — Effetto della forza centrifuga nelle acque dei mari e dell'Oceano §. 378. — Turbini e trombe di terra e di mare; vortici di Cartesio §. 379. — Forza centrifuga applicata alla costruzione di machine §. 380. Trajettorie dei pianeti; velocità e distanze §. 381. — Valore della forza centrale nelle trajettorie elittiche §. 382.—Curva descritta dai projettili §. 383.—Palla lanciata dal cannone; mira §. 384. — Come un projettile potrebbe trasformarsi in un satellite §. 385.— Balistica; equazione del moto d'un projettile; sperienza sul moto parabolico §. 386. — Equazione generale per isciogliere i problemi della balistica §. 387. — Conseguenze che se ne deducono §. 388. — Valore della portata §. 389. — Altezza del tiro §. 390. — Tempo del moto della palla §. 391. — Come le dottrine teoriche si applicano alla pratica §. 392.

— Pendolo; moto ed arco d'oscillazione; lunghezza del pendolo; velocità delle oscillazioni §. 393. — Tempo delle oscillazioni; valore della durata d'un'oscillazione §. 394. — Pendolo applicato al moto degli orologi §. 395. — Verificazione col pendolo dell'egual velocità dei gravi cadenti §. 396. — Lunghezza del pendolo a secondi nei diversi luoghi §. 397. — Formole con cui si ha il numero delle oscillazioni in un dato tempo §. 398. — Rapporti fra le durate delle oscillazioni e le lunghezze del pendolo ecc.; sperienze §. 399. — Rapporti del numero delle oscillazioni colle lunghezze del pendolo; altri rapporti §. 400. — Modo di determinare la lunghezza del pendolo §. 401. — Velocità iniziale delle gravità determinata col pendolo §. 402. — Lunghezza del metro determinata col pendolo §. 403. — Pendolo cicloidale §. 404. — Pendoli a compensazione §. 405. — Centro d'oscillazione del pendolo composto §. 406. — Formole pel pendolo composto §. 407. — Pendolo semplice §. 408. — Lunghezza del pendolo fatto di verghe di forme differenti §. 409. — Costruzione del metronomo pel tempo nella musica §. 410. — Teoria del metronomo §. 411. — Come si usa il metronomo nella musica §. 412. — Centro di percossa; esempi §. 413. — Problemi intorno al pendolo §. 414.

PARTE SECONDA.

Della fisica particolare (corpi ponderabili). . . . . Pag. 288

Fisica particolare, essa riguarda i corpi ponderabili e le sostanze imponderabili §. 415.

CAPITOLO PRIMO.

Delle proprietà dei corpi solidi. 288

Proprietà delle materie solide costituiscono la stereomeccanica, la quale si divide in stereostatica e in stereodinamica §. 416.

Sezione I. *Della statica dei solidi o stereostatica* 289

Durezza e mollezza; corpi dotati di queste proprietà §. 417. — Esse hanno i loro gradi; modo di designarli dai mineralisti; consistenza §. 418. — Fragilità e friabilità; matassei di Bologna; lagrime batavieche ed altri corpi dotati di gran friabilità §. 419. — Battitura a freddo rende i metalli fragili; osservazioni per le sale delle ruote §. 420. — Duttilità dei corpi; del vetro e di altre materie; lavori con fili di vetro §. 421. — Rigidezza; flessibilità; corpi dotati di questa proprietà §. 422. — Tenacità; corpi tenaci; ponti pensili con fili di ferro §. 423. — Applicazioni diverse delle dette proprietà alle arti; lamine taglienti damaschine §. 424. — Densità dei solidi, principii per determinarla; principio d'Archimede §. 425. — Metodi per determinare la gravità specifica §. 426. — Gravità specifica d'un solido di minor densità dell'acqua §. 427. — Coll'areometro a boccetta §. 428. — Gravità specifica dei corpi solubili nell'acqua §. 429. — Metodo più esatto per trovare la gravità specifica nei due precedenti casi §. 430. — Vantaggi della gravità specifica §. 431. — Dilatazione dei solidi pel calorico; cristalli §. 432. — Resistenza dei solidi alla pressione §. 433. — Solidi sotto diverse forme e collegati formano le machine; machine semplici §. 434. — Leva; diversi generi §. 435. — Condizioni d'equilibrio; sperienza §. 436. — Relazione fra la potenza e la resistenza nei diversi generi di leva; leva pesante §. 437. — Usi diversi della leva di primo genere §. 438. — Usi di quella di secondo genere §. 439. — Di quella di terzo genere; leve nel

corpo umano §. 440. — Sistema di leve: condizioni d'equilibrio: sperienza, osservazioni §. 441. — Bilancia comune è una leva: teorica §. 442. — Bilance false: modo di pesare con esse §. 443. — Stadera e sua teorica §. 444. — Usi della stadera: bilancino e stadera per le monete: bilancia e stadera §. 445. — Bilance a doppia leva §. 446. — Bilancia a ponte §. 447. — Carrucola e sue parti: di due specie §. 448. — Condizioni d'equilibrio nella carrucola fissa: vantaggio della medesima §. 449. — Teorica della carrucola mobile §. 450. — Relazione fra la potenza e la resistenza nella carrucola mobile: quando i tratti sono paralleli §. 451. — Sistemi di carrucole: equazione d'equilibrio per un sistema §. 452. — Equazione per le taglie §. 453. — Equazione per un terzo sistema di carrucole §. 454. — Tornio e sue parti: differenti specie di torni §. 455. — Condizioni d'equilibrio nel tornio: albero ripiegato §. 456. — Verricello cinese §. 457. — Timpani e loro condizioni d'equilibrio §. 458. — Applicazioni dei torni: sistema di torni colla ruota dentata ed a cingoli §. 459. — Condizioni d'equilibrio nei sistemi di torni §. 460. — Piano inclinato: condizioni d'equilibrio §. 461. — Cuneo, condizioni d'equilibrio: apparecchio per sperimentarla §. 462. — Effetti delle arti che si riferiscono al cuneo §. 463. — Vite e sue parti: può essere adoperata in tre maniere §. 464. — Sviluppo della vite: sua teorica §. 465. — Usi della vite: strumenti che ne dipendono §. 466. — Vite perpetua meccanica: condizioni d'equilibrio §. 467.

Sezione II. *Della dinamica dei solidi o stereodinamica* . . . *Pag.* 335

Oggetto della stereodinamica §. 468. — Circostanze diverse di moto dei solidi: urto ha luogo in diversi casi §. 469. — Urto dei solidi elastici: quantità di moto comunicata; velocità dopo l'urto §. 470. Conseguenze dedotte dalle formole: comunicazione del moto in una serie di globi elastici: sperienze colle machine di percussione §. 471. — Sperienze pei corpi inelastici colle stesse machine §. 472. — Sperienza del moto comunicato ad una serie di globi elastici §. 473. — Urto obliquo centrale, che si verifica nel giuoco del bigliardo §. 474. Moto riflesso: normale ed obliquo §. 475. L'angolo d'incidenza eguaglia quello di riflessione: sperienza colla machina di riflessione §. 476. Problemi intorno al moto riflesso applicabili al giuoco del bigliardo §. 477. — Grande differenza fra le machine in equilibrio ed in moto §. 478. — Vera utilità delle machine §. 479. — Uso della capra §. 480. — Uso della grua §. 481. — Uso del martinetto §. 482. — Rapporto del numero dei giri nelle ruote dentate e in quelle a cingoli §. 483. — Ruote dentate negli orologi: antolino §. 484. Ufficio della fusoide negli orologi §. 485. — Quantità di moto d'una ruota che gira: volante: esempi d'applicazione di esso §. 486. — Bilanciere negli orologi e nelle zecche è un volante: volante come moderatore nelle machine in moto §. 487. — Scelta della machina per produrre un dato effetto: vero scopo delle machine: classificazione dei vantaggi delle medesime §. 488. Resistenze meccaniche: attrito: diverse specie §. 489. — Influenza dell'attrito sul moto: logora i corpi: è utile in alcuni casi §. 490. — Elementi dell'attrito radente: tribometro per questo attrito: valutazione dell'attrito §. 491. — Coefficiente d'attrito ed altro metodo per trovarlo nell'attrito radente §. 492. — Tribometro per l'attrito volvente: valutazione di questa specie d'attrito §. 493. — Tribometro per l'attrito composto: valutazione di questa specie d'attrito §. 494. — Confronto delle tre specie d'attrito e tribometro a tale scopo: esempi d'attrito in alcuni moti: nelle grandi velocità bisogna aver riguardo alla resistenza dell'aria §. 495. — Mezzi di diminuire la resistenza d'attrito §. 496. — Rigidezza delle funi o dei canapi: elementi di questa resistenza: apparato per esperimentare la rigidezza: valutazione della medesima §. 497. — Ostacoli da vincere per movere un corpo, e contrasti da evitare nelle machine in moto §. 498. — Problemi intorno alla stereomeccanica §. 499.

— Pendolo; moto ed arco d'oscillazione; lunghezza del pendolo; velocità delle oscillazioni §. 393. — Tempo delle oscillazioni; valore della durata d'un'oscillazione §. 394. — Pendolo applicato al moto degli orologi §. 395. — Verificazione col pendolo dell'egual velocità dei gravi cadenti §. 396. — Lunghezza del pendolo a secondi nei diversi luoghi §. 397. — Formola con cui si ha il numero delle oscillazioni in un dato tempo §. 398. — Rapporti fra le durate delle oscillazioni e le lunghezze del pendolo ecc.; sperienza §. 399. — Rapporti del numero delle oscillazioni colle lunghezze del pendolo; altri rapporti §. 400. — Modo di determinare la lunghezza del pendolo §. 401. — Velocità iniziale della gravità determinata col pendolo §. 402. — Lunghezza del metro determinata col pendolo §. 403. — Pendolo cicloidale §. 404. — Pendoli a compensazione §. 405. — Centro d'oscillazione del pendolo composto §. 406. — Formole pel pendolo composto §. 407. — Pendolo semplice §. 408. — Lunghezza del pendolo fatto di verghe di forme differenti §. 409. — Costruzione del metronomo pel tempo nella musica §. 410. — Teoria del metronomo §. 411. — Come si usa il metronomo nella musica §. 412. — Centro di percossa; esempi §. 413. — Problemi intorno al pendolo §. 414.

PARTE SECONDA.

Della fisica particolare (corpi ponderabili). . . . . Pag. 288

Fisica particolare; essa riguarda i corpi ponderabili e le sostanze imponderabili §. 415.

CAPITOLO PRIMO.

Delle proprietà dei corpi solidi. 288

Proprietà delle materie solide costituiscono la stereomeccanica, la quale si divide in stereostatica e in stereodinamica §. 416.

Sezione I. *Della statica dei solidi o stereostatica* 289

Durezza e mollezza; corpi dotati di queste proprietà §. 417. — Esse hanno i loro gradi; modo di designarli dai mineralisti; consistenza §. 418. — Fragilità e Friabilità; mattacci di Bologna; lagrime bataviche ed altri corpi dotati di gran friabilità §. 419. — Battitura a freddo rende i metalli fragili; osservazioni per le sale delle ruote §. 420. — Duttilità dei corpi; del vetro e di altre materie; lavori con fili di vetro §. 421. — Rigidezza; flessibilità; corpi dotati di questa proprietà §. 422. — Tenacità; corpi tenaci; ponti pensili con fili di ferro §. 423. — Applicazioni diverse delle dette proprietà alle arti; lamine taglienti damascine §. 424. — Densità dei solidi, principii per determinarla; principio d'Archimede §. 425. — Metodi per determinare la gravità specifica §. 426. — Gravità specifica d'un solido di minor densità dell'acqua §. 427. — Coll'areometro a boccetta §. 428. — Gravità specifica dei corpi solubili nell'acqua §. 429. — Metodo più esatto per trovare la gravità specifica nei due precedenti casi §. 430. — Vantaggi della gravità specifica §. 431. — Dilatazione dei solidi pel calorico; cristalli §. 432. — Resistenza dei solidi alla pressione §. 433. — Solidi sotto diverse forme e collegati formano le machine; machine semplici §. 434. — Leva; diversi generi §. 435. — Condizioni d'equilibrio; sperienza §. 436. — Relazione fra la potenza e la resistenza nei diversi generi di leva; leva pesante §. 437. — Usi diversi della leva di primo genere §. 438. — Usi di quella di secondo genere §. 439. — Di quella di terzo genere; leva nel

corpo umano §. 440. — Sistemi di leve: condizioni d'equilibrio: sperienza: osservazioni §. 441. — Bilancia comune è una leva: teorica §. 442. — Bilance false: modo di pesare con esse §. 443. — Stadera e sua teorica §. 444. — Usi della stadera: bilancino e stadera per le monete: bilancia a stadera §. 445. — Bilance a doppia leva §. 446. — Bilancia a ponte §. 447. — Carrucole e sue parti: di due specie §. 448. — Condizioni d'equilibrio nella carrucola fissa: vantaggio della medesima §. 449. — Teorica della carrucola mobile §. 450. — Relazione fra la potenza e la resistenza nella carrucola mobile: quando i tratti sono paralleli §. 451. — Sistemi di carrucole: equazione d'equilibrio per un sistema §. 452. — Equazione per le taglie §. 453. — Equazione per un terzo sistema di carrucole §. 454. — Tornio e sue parti: differenti specie di torni §. 455. — Condizioni d'equilibrio nel tornio: albero ripiegato §. 456. — Verricello cinese §. 457. — Timpani e loro condizioni d'equilibrio §. 458. — Applicazioni dei torni: sistema di torni colle ruote dentate ed a cingoli §. 459. — Condizioni d'equilibrio nei sistemi di torni §. 460. — Piano inclinato: condizioni d'equilibrio §. 461. — Cuneo, condizioni d'equilibrio: apparecchio per sperimentarle §. 462. — Effetti delle arti che si riferiscono al cuneo §. 463. — Vite e sue parti: può essere adoperata in tre maniere §. 464. — Sviluppo della vite: sua teorica §. 465. — Usi della vite: strumenti che ne dipendono §. 466. — Vite perpetua meccanica: condizioni d'equilibrio §. 467.

Sezione II. *Della dinamica dei solidi o stereodinamica* . . . *Pag.* 335

Oggetto della stereodinamica §. 468. — Circostanze diverse di moto dei solidi: urto ha luogo in diversi casi §. 469. — Urto dei solidi elastici: quantità di moto comunicata; velocità dopo l'urto §. 470. Conseguenze dedotte dalle formole: comunicazione del moto in una serie di globi elastici: sperienza colla machina di percussione §. 471. — Sperienze pei corpi inelastici colla stessa machina §. 472. — Sperienza del moto comunicato ad una serie di globi elastici §. 473. — Urto obliquo centrale, che si verifica nel giuoco del bigliardo §. 474. Moto riflesso: normale ed obliquo §. 475. L'angolo d'incidenza eguaglia quello di riflessione: sperienza colla machina di riflessione §. 476. Problemi intorno al moto riflesso applicabili al giuoco del bigliardo §. 477. — Grande differenza fra le machine in equilibrio ed in moto §. 478. — Vera utilità delle machine §. 479. — Uso delle capre §. 480. — Uso della grua §. 481. — Uso del martinetto §. 482. — Rapporto del numero dei giri nelle ruote dentate e in quelle a cingoli §. 483. — Ruote dentate negli orologi: notolino §. 484. Ufficio della fusciole negli orologi §. 485. — Quantità di moto d'una ruota che gira: volanti: esempi d'applicazione di esso §. 486. — Bilanciere negli orologi e nelle secche è un volante: volante come moderatore nelle machine in moto §. 487. — Scelta delle machine per produrre un dato effetto: vero scopo delle machine: classificazione dei vantaggi delle medesime §. 488. Resistenze meccaniche: attrito: diverse specie §. 489. — Influenza dell'attrito sul moto: logora i corpi: è utile in alcuni casi §. 490. — Elementi dell'attrito radente: tribometro per questo attrito: valutazione dell'attrito §. 491. — Coefficiente d'attrito ed altro metodo per trovarlo nell'attrito radente §. 492. — Tribometro per l'attrito volvente: valutazione di questa specie d'attrito §. 493. — Tribometro per l'attrito composto: valutazione di questa specie d'attrito §. 494. — Confronto delle tre specie d'attrito e tribometro a tale scopo: esempi d'attrito in alcuni moti: nelle grandi velocità bisogna aver riguardo alla resistenza dell'aria §. 495. — Mezzi di diminuire la resistenza d'attrito §. 496. — Rigidezza delle funi o dei canapi: elementi di questa resistenza: apparato per esperimentare la rigidezza: valutazione della medesima §. 497. — Ostacoli da vincere per movere un corpo, e contrasti da evitare nelle machine in moto §. 498. — Problemi intorno alla stereomeccanica §. 499.

CAPITOLO SECONDO.

DELLE PROPRIETÀ DEI CORPI LIQUIDI . . . . . *Pag.* 568

I liquidi sono parecchi di numero, l'acque è quello che più c'interessa: coesione nei liquidi o fluidità imperfetta: meccanica dei liquidi §. 500.

SEZIONE I. *Della statica dei liquidi od idrostatica* 571

Differenza tra i solidi e i liquidi: trasmissione delle pressione per ogni verso: oggetto dell'idrostatica §. 501. — Bilancia idrostatica §. 502. — Principio dell'eguaglianza di pressione §. 503. — Condizioni per l'equilibrio dei liquidi §. 504. — Conseguenze dedotte dalle condizioni d'equilibrio, e liquidi di differente densità nello stesso vaso: sperienze col passavino o col tubo dei quattro elementi §. 505. — Pressione dei liquidi: sperienza per le pressione all'ingiù e per quella all'insù: sperienze per valutare la pressione all'insù, la quale eguaglia quella all'ingiù: pressione laterale §. 506. — Pressione sul fondo dei vasi; in che consiste il paradosso idrostatico: sperienze §. 507. — Pressione sulle pareti laterali dei vasi: differenza fra centro di pressione e centro di gravità: pressioni su pareti di diverse forme §. 508. — Potenza della pressione dei liquidi in ragione dell'altezza: sperienza col mantice idrostatico: leva ad acque §. 509. — Torchio idraulico: rapporto fra le potenze e le resistenze in queste machine §. 510 — Equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti: sperienza §. 511. — Liquidi eterogenei nei tubi comunicanti: sperienza §. 512. — Livello dei meri: pozzi trivellati: arte di distribuire le acque §. 513. — Arte di livellare: livello e tubi comunicanti §. 514. — Livello a galleggianti: o bolle d'aria §. 515. — Compressione dei liquidi; machine di compressione: compressibilità di alcuni liquidi §. 516. — Compressibilità al fondo dei mare: fenomeno osservato §. 517. — Pressione dei liquidi sui corpi in essi sommersi come si misura §. 518. — Spinta verticale: valore e direzione della medesima: peso dei liquidi nelle loro masse §. 519. — Condizioni d'equilibrio d'un corpo sommerso in un liquido §. 520. — Contrasto fra la gravità e la spinta verticale nei corpi sommersi §. 521. — Due corpi in equilibrio nell'atmosfera non lo sono più in un liquido: i volumi dei due solidi stanno come le perdite nel liquido §. 522. — Il volume del solido eguaglia il peso perduto diviso per la densità del liquido: rapporto fra le gravità specifiche del solido e del liquido: gravità specifiche sono come le perdite di peso §. 423. — Galleggianti: il peso del galleggiante eguaglia quello del liquido rimosso: sperienza §. 524. — Condizioni d'equilibrio dei galleggianti §. 525. — Condizioni d'equilibrio delle navi: metacentro §. 526. — Pesi specifici del solido e del liquido come porzione del volume immerso al totale §. 527. — Le gravità specifiche di due liquidi in ragion inversa delle porzioni sommerse del galleggiante; in ragione diretta dei pesi dei galleggianti §. 528. — Fenomeni dipendenti da questi principii; apparato dei diavoli idrostatici §. 529. — Dilatazione dei liquidi in virtù del calorico §. 530. — Modo di trovare il peso specifico dei liquidi §. 531. — Areometro e boccetta per trovare il peso specifico dei liquidi §. 532. — Applicazioni delle gravità specifiche dei liquidi; scafandro §. 533. — Teoria dello scafandro; esempio §. 534. — Problema delle corona di Erone §. 535. — Applicazioni della cognizione del peso specifico §. 536. — Gravità specifica per conoscere la purezza dei liquidi; acque diverse; areometri e pesaliquori: metodi areometrici §. 537. — Due specie di areometri: teorica degli areometri a volume variabile: metodo per graduarli §. 538. — Altro metodo §. 539. — Areometro a cilindro: cautele per usare degli areometri §. 540. — Teorica degli areometri a peso variabile §. 541. — Areometro a bilancia: modo di usarlo §. 542. — Diverse specie di pesaliquori: modo di costruirli §. 543. — Pesaliquori di Beaumé §. 544. — Servigi resi dagli areometri e pesaliquori §. 545. — Problemi d'idrostatica §. 546.

Digitized by Google

SEZIONE II. *Della dinamica dei liquidi od idrodinamica* . . . *Pag.* 414

Importanza dell'idrodinamica §. 547. — Moto dei liquidi nel loro efflusso dai vasi §. 548. — Teorema di Torricelli pel moto dei liquidi: conseguenze §. 549. — Contrazione della vena §. 550. — Verificazione sperimentale del teorema di Torricelli: apparato per le sperienze §. 551. — Quantità d'acqua erogata §. 552. — Alcuni teoremi intorno all'erogazione dei liquidi §. 553. — Scala delle velocità in una bocca d'irrigazione: bocche per la distribuzione delle acque §. 554. — Vaso pieno che successivamente si vuota: maniera di costruire la clessidra §. 555. — Clessidra presso gli antichi: orologi a sabbia §. 556. — Efflusso pei tubi addizionali §. 557. — Acque condotte per lunghi tubi: formola per la velocità e per la portata: pressione sulle pareti dei tubi §. 558. — Acqua zampillante: formola §. 559. — Formola per la velocità dei fiumi §. 560. — Moto ondulatorio dei liquidi: onda e sue parti: ondulazione in tubo ripiegato §. 561. — Propagazione delle onde §. 562. — Distanze nei giunguno §. 563. — Causa delle onde; influenza dell'olio §. 564. — Velocità del moto ondolatorio §. 565. — Machine per muovere i liquidi; diverse specie di valvole §. 566. — Siringa semplice e composta §. 567. — Canna idraulica §. 568. — Tromba aspirante; sperienza relativa: tromba a soffietto §. 569. — Tromba premente §. 570. — Tromba composta: uso delle trombe: sperienze nella scuola §. 571. — Trombe a rosario: a funi di Vera: momento dinamico della medesima §. 572. — Tromba per gl'incendi; valutazione della forza per le trombe: sperienze nella scuola §. 573. — Tromba a rotazione continua §. 574. — Tromba a forza centrifuga §. 575. — Sifone: tantalo: assaggiatore §. 576. — Coclea d'Archimede §. 577. Machina del Frangini: vaso di Mariotte §. 578. — Moto dei liquidi per isquilibrio idrostatico: sperienza di Galilei sulla percossa dei liquidi §. 579. — Ruote idrauliche: valutazione della percossa dell'acqua sulle ruote idrauliche §. 580. — Diverse specie di ruote idrauliche: ruota idraulica mossa dall'azione del peso dell'acqua: formola per misurarne l'affetto §. 581. — Ruote idrauliche orizzontali: arganetto idraulico: turbina §. 582. — Machina del Finugio §. 583. — Ariete idraulico §. 584. — Solidi che si movono in un liquido: sperienze nella scuola §. 585. — Ritardamento di due solidi di diversa densità nel moversi in un liquido §. 586. — Moto riflesso §. 587.

CAPITOLO TERZO

DELLE PROPRIETÀ DEI CORPI AERIFORMI 451

Corpi aeriformi permanenti e non permanenti ossia gas e vapori: aria: vapor acqueo: aereomeccanica §. 588.

SEZIONE I. *Della statica degli aeriformi od aerostatica* . . . 453

Differenza dell'aerostatica dall'idrostatica: peso dell'aria trovato da Galilei: importanza di questa determinazione §. 589. — Machina pneumatica: perfezionamenti alla medesima §. 590. — Rarefazione dell'aria colla machina pneumatica: non si può mai fare il vuoto perfetto §. 591. — Peso dell'aria con l'aiuto della machina pneumatica §. 592. — Sperimento di Tarricelli: tubo a vuoto torricelliano §. 593. — Sperienza di Pascal col tubo di Torricelli: sperienza colla machina pneumatica §. 594. — Pressione dell'atmosfera: sopra un centimetro quadrato: conseguenze §. 595. — Sperienze colla machina pneumatica: ceppo filosofico §. 596. — Elasticità degli aeriformi: sperienze §. 597. — Sperienze ed effetti con l'elasticità dell'aria §. 598. Principio dell'uguaglianza di pressione per gli aeriformi: espansibilità di questi fluidi: differenze fra gli aeriformi ed i liquidi §. 599. — Sperienze

con cui si prova la pressione degli aeriformi per ogni verso: apparato degli emisferi magdeburgici: tubo di Roberval §. 600. — Fenomeni differenti dipendenti dalla pressione dell'aria: attrattore pneumatico: le mosche si attaccano ai corpi come quest'apparecchio §. 601. — Condizioni d'equilibrio pei fluidi aeriformi: pressione su se medesimi §. 602. — L'elevazione del mercurio nel tubo all'aria libera ed in una stanza: per la pressione dei fluidi si verificano tutte le conseguenze tratte pei liquidi §. 603. — Siringa pneumatica: chiavetta a valvola di Grivelli §. 604. — Machina di condensazione §. 605. — Legge della compressione degli aeriformi: non si verifica secondo l'aveva stabilita Mariotte: problema: grande compressione dell'aria portata in fondo del mare §. 606. — Tensione: si misura colle valvole e coi manometri: misura colle valvole §. 607. — Manometri di due specie: provino: tubi di sicurezza: manometro a sifone: uso di essi nelle arti §. 608. — Manometro a condensazione; formola per graduarlo §. 609. — Dilatazione dei fluidi aeriformi pel calorico: sperienze di Fontana, di Volta, di Gay-Lussac, di Dalton, di Dulong e Petit, di Davy §. 610. — Sperienze di Magnus, di Regnault: coefficiente di dilatazione di alcuni gas: importanza di questo coefficiente §. 611. — Come si formano i vapori: essi si formano egualmente nei gas e nel vuoto e dipendono interamente dalla temperatura §. 612. — Osservazioni sullo stato dei vapori: tensione massima di essi: al disotto di questa tensione si comprimono come i gas §. 613. — La tensione massima varia colla temperatura: condizioni d'equilibrio d'una massa vaporosa inegualmente riscaldata §. 614. — Importanza della cognizione della tensione massima dei vapori: metodi per determinarla: diligenze da usarsi: sperienze di Magnus, Regnault: formola del primo con cui si ha la tensione per ogni grado del termometro: formole per le tensioni superiori al grado dell'ebollizione dell'acqua §. 615. — Legge di Dalton applicata alla determinazione della tensione massima degli altri liquidi §. 616. — Peso specifico degli aeriformi: processo per determinare quello dei gas: peso specifico di alcuni gas secondo le più recenti sperienze §. 617. — Formola per ridurre le gravità specifiche degli aeriformi alla medesima pressione e temperatura §. 618. — Determinazione della gravità specifica del vapore acqueo: sperienze di Gay-Lussac, di Dumas, di Regnault §. 619. — Formole per la densità del vapore acqueo: applicazione §. 620. — Densità dei vapori di altri liquidi: scomparsa del liquido col riscaldamento: sperienze di Cagniard La Tour §. 621. — Modo con cui si dispongono i fluidi aeriformi, che non hanno fra loro affinità: legge generale per la mescolanza degli aeriformi §. 622. — Il rimescolamento dei gas coi vapori è l'argomento dell'igrologia: ipotesi erronea dei fisici dello scorso secolo per la mescolanza dell'aria col vapor acqueo: igroscopi ed igrometri §. 623. — In che consiste l'umidità e come si valuta: essa differisce dalla quantità assoluta d'acqua che può esistere in vapore nell'aria: l'aria d'estate, p. e., può avere molto più acqua che d'inverno ed essere meno umida §. 624. — Quali sono le circostanze che possono variare l'umidità, e in quante maniere può essere cambiata §. 625. — Principii diversi sui quali può essere fondata la costruzione d'un igroscopio e d'un igrometro §. 626. — Gl'igroscopi e gl'igrometri sinora conosciuti sono di tre specie: igroscopi ad assorbimento: corpi igroscopici diversi: igroscopio di Leonardo da Vinci §. 627. — Igroscopi comuni: igroscopio che dà le indicazioni col suono §. 628. — Igrometro di Chiminello §. 529. — Igrometro di De Luc §. 630. — Igrometro di Saussure: imperfezione di questo igrometro §. 631. — Igrometro comune §. 632. — Metodo chimico per l'igrometria può usarsi in due modi: grado igrometrico dedotto dal calore che si sviluppa nell'unione dell'acido solforico coll'umidità, imperfezione di questo metodo §. 633. — Igrometro a tensione §. 634. — Igroscopio a condensazione degli accademici del Cimento §. 635. — Le Roy si è servito dello stesso principio: Dal-

ton l' ha meglio applicato: igrometro di Daniell: semplificazione dell'igrometro a condensazione §. 636. — Psicrometro §. 637. — Formole più esitate per servirsi del psicrometro nelle valutazione dell'umidità: oltre questioni sull'igrologia, di cui si parlerà §. 638. — Pressione dei fluidi aeriformi sui corpi in essi sommersi: pressione dell'atmosfera: barometro a pozzetto §. 639. — Rapporti delle elevazioni nell'atmosfera colle altezze del mercurio nel barometro §. 640. — Barometri stazionarii e portatili: barometro a sifone; barometro a quadrante: barometro a squadra: altri barometri §. 641. — Requisiti per un buon barometro §. 642. — Barometro a galleggiante: barometro di Origo §. 643. — Barometro di Pino: barometro di Englefield §. 644. — Barometro di Gay-Lussac: termobarometro §. 645. — Sospensione del barometro nelle specole, nei gabinetti, nei viaggi, sulle navi della marina §. 646. — Barometrografi: barometro a versamento §. 647. — Barometro aneroide: barometro ad acqua; ad olio §. 648. — Regola pratica per misurare le altezze col barometro: formole a tale scopo: applicazione §. 649. — Pressione dell'atmosfera sui corpi in essa sommersi: spinta verticale: principio d'Archimede: manometro-bilancia: effetti prodotti dalla spinta verticale dell'aria §. 650. — L'aria preme su tutti i corpi, penetra ovunque: ragione perchè i corpi molli non si schiacciano: perchè l'uomo non ne è aggravato §. 651. — Condizione d'equilibrio dei corpi sommersi nell'aria §. 652. — Globi aerostatici: essi sono di due specie: palloni ad aria rarefatta §. 653. — Aerostati a gas: maniera di riempirli e di estrarne il gas §. 654. — Maniera di regolare la forza ascensiva degli aerostati a gas: perchè non si riempiono interamente di gas §. 655. — Paracadute: modo di far cadere il pallone tostochè l'aeronauta se ne è distaccato per discendere col paracadute §. 656. — Invenzione degli aerostati e primo volo aereo in Francia, in Italia, in Inghilterra ed in Germania: maggiori altezze cui è giunto l'uomo nei palloni §. 657. — Formola per valutare la forza ascensiva d'un aerostato: quantità delle materie per estrarre il gas necessario ad empire un dato pallone §. 658. — Vantaggi finora portati dai palloni aerostatici §. 659.

SEZIONE II. *Della dinamica degli aeriformi od aereodinamica* Pag. 535

I movimenti dei fluidi aeriformi sono complicati: di che si occupa l'aereodinamica §. 660. — Velocità d'un aeriforme uscente da un vaso si valuta col teorema di Torricelli: formola per questa velocità §. 661. — Velocità effettiva e teorica: esperienze sulla velocità dei gas: contrazione della vena: leggi del movimento dei gas §. 662. — Esperienze sulla condotta dei gas per lunghi tubi §. 663. — Formole applicabili alla pratica per valutare nei diversi casi la quantità di gas erogato §. 664. — Fenomeno singolare d'un disco oscillante contro la corrente d'un gas: esperienze relative a questo fenomeno §. 665. — Importanza del fenomeno per le valvole delle machine a vapore: caso era conosciuto avanti che fosse osservato nei soffiatoi di una fucina §. 666. — Apparati per mettere in moto gli aeriformi: gazometro a due secchi: maniera di rendere costante l'efflusso: grandi gazometri per l'illuminazione a gas: apparecchi portatili a gas: apparecchi per la correnti d'ossigeno ed idrogeno nella combustione §. 667. — Gazometro ad un solo secchio: gazometri pei gas che hanno affinità con l'acqua §. 668. — Piccoli gazometri di vetro: modo di rendere in essi costante l'efflusso §. 669. — Soffietti e mantici comuni: portavento interamente di legno: azione intermittente di essi: soffietto e mantice a doppio effetto §. 670. — Soffietto per gli asfittici §. 671. — Mantice a rotazione §. 672. — Soffietto idraulico §. 673. — Ventilatori: ventilatore a forza centrifuga: soffietto simile:

effetto d'un ventilatore §. 674. — Ventilatore fondato sullo equilibrio statico per le sentine dei bastimenti: ventilazione prodotta negli ordinari camini, nei fornelli §. 675. — Ventilazione negli ospedali, nei teatri, nelle miniere ecc.: ventola a molinello: importanza della ventilazione §. 676. — Spiragli d'aria che si riscontrano nelle fenditure di qualche monte in alcune stagioni dipendono da questo principio §. 677. — Applicazione dello stesso principio al soffiatojo degli smaltatori §. 678.— L'aria considerata come motore: pressione dell'aria applicata come motore sulle strade ferrate §. 679. — La fontana di pressione serve ad esperimentare una tal forza: essa è la forza agente nella tromba aspirante §. 680. — Mulini a vascelli mossi dall'urto del vento: quadro delle diverse velocità e forze del vento; formola per calcolarne la forza; azione obliqua del vento; momento dinamico d'un mulino a vento §. 681. — Corpi solidi che si muovono nell'aria trovano in essa una resistenza: si hanno gli stessi risultamenti di quando il solido è in quiete e l'aria in moto: resistenza provata nelle scuole col molinello: effetto di questa resistenza in parecchi movimenti: resistenza sui convogli delle strade ferrate. §. 682. — L'aria serve come motore colla sua elasticità, la quale si è proposta per le strade ferrate; nelle scuole si mostra colla fontana di compressione e col fucile a vento: maniera di caricare questo fucile; formola per valutare la velocità della palla: modo di riconoscere la tensione dell'aria condensata: punto cui si carica il fucile: l'elasticità dell'aria compressa per molti anni non ha perduto della sua forza §. 683. — L'aria si condensa anche con colonne liquide: Fontana di Erone comune: altra fontana di Erone §. 684. — Fontana intermittente: serbatojo dipendente dallo stesso principio: applicazione alla costruzione di calamai, lucerne ecc.; fontane intermittenti naturali; imbuto ed soffiatojo magici §. 685.—Fontana di rarefazione; formola per la forza elastica §. 686. — Forza del gas sviluppato dalla polvere pirica §. 687. — Forza del vapor acqueo adoprato nella meccanica; per percussione non ha forza valevole; per reazione come nell'eolipila §. 688. — Forza di tensione del vapore utile nella meccanica; esperienza con l'eolipila; colla machinetta per fare il caffè; fenomeni diversi prodotti dalla forza elastica del vapore §. 689. — Prima maniera d'applicare la forza del vapore nella meccanica; machine a doppio effetto; a condensazione §. 690. — Valvola a cassetta nelle machine a vapore moderne; altra valvola a cassetta §. 691. — Oltre le machine a vapore a semplice ed a doppio effetto e le machine a condensazione, vi sono quelle ad espansione ed a basse ed alte pressione; armi a vapore §. 692 — La forza delle machine a vapore si misura a cavalli; in atmosfere; in combustibile consumato; momento dinamico d'una machina a vapore; usi differenti cui è stata applicata la forza del vapore; maniera di prevenire lo scoppio delle caldaje §. 693.—Moto d'ondulazione dell'aria; acustica; scopo dell'acustica; suono; diversi suoni; maniere d'eccitare il suono nei corpi; di che deve occuparsi l'acustica §. 694. — Il movimento produttore del suono è il vibratorio; esempi; esperienze nella scuola §. 695. — Il suono è trasmesso all'organo acustico per l'aria; sperienza; da cui si apprende anche che il suono diminuisce colla rarefazione dell'aria; si accresce al contrario coll'aumento della densità; i gas ed i vapori conducono il suono al pari dell'aria §. 696. — Analisi del movimento ondulatorio dell'aria con cui si trasmette il suono §. 697. — Suono all'aria libera; si propaga per isfera; l'intensità scema col quadrato della distanza; impiega un certo tempo nel propagarsi §. 698. — Prime sperienze della velocità del suono furono fatte in Italia; ripetute in parecchie parti del mondo ed ancora in Italia; essa varia colla temperatura; velocità del suono per una data temperatura; formola per calcolarla a qualunque grado; applicazione della velocità del suono per misurare la distanza §. 699 —Riflessione del suono;

Digitized by Google

indebolimento per le riflessioni parziali; nei luoghi rinchiusi il suono riesce più forte per la riflessione; oggetti che impediscono questa riflessione §. 700. — Eco; distanza cui si ha l'eco in riguardo alla percezione dei suoni e in riguardo alla pronunzia delle parole: quando la distanza è minore si ha il rimbombo; eco polisillaba; eco multipla; eco nelle valli; eco prodotta dalle nubi, da una vela §. 701. — Leggi del suono riflesso sono le medesime di quelle dei corpi elastici; cerbotana; sperienza in lungo tubo; applicazioni; tromba stentorea o marina; distanza cui si propaga la voce umana; usi di questi strumenti; cornetti acustici §. 702. — Gabinetti parlanti; esempi diversi di questo fenomeno; concentrazione del suono per mezzo di una vela; teatri sonori; altri esempi §. 703. — Vibrazioni delle corde sonore; formola per determinare il numero delle vibrazioni; rapporti del numero delle vibrazioni colla tensione, lunghezza, grossezza e densità della corda; sperienza col sonometro §. 704. — Numero delle vibrazioni dei tuoni della scala diatonica, o acutezza dei suoni; suoni armonici; armonia e melodia; quale di queste costituisce l'essenza della musica; tuoni interi e semi tuoni nella scala diatonica; tuoni interi maggiori e minori, e semi tuoni maggiori e minori; cambiamento di tuono nella scala; accidenti nella musica a tal uopo e loro valori §. 705. — Strumenti da corda; inconveniente nell'accordarli; metodo adottato per l'accordatura §. 706. — Determinazione del numero delle vibrazioni dei tuoni musicali colle lamine elastiche §. 707. — La stessa determinazione colla sirena acustica §. 708. — La maniera più sicura e più comune per tale determinazione è di servirsi delle corde vibranti colla formola surrammentata; numero delle vibrazioni del tuono del corista di alcuni teatri; estensione della voce dell'uomo e della donna, e vibrazioni corrispondenti; numero delle vibrazioni del suono il più basso e il più acuto percettibili; lunghezze delle onde aeree prodotte da un dato tuono §. 709. — Intensità dei tuoni; da che dipende l'intensità; strumenti che danno suoni molto intensi; nelle regioni boreali il suono è più intenso per la maggiore densità dell'aria; nell'alto dell'atmosfera è debole; oltre la distanza ha influenza sull'intensità la posizione del corpo vibrante; suono articolato; da che nasce la tempra dei suoni §. 710. — I solidi propagano pure il suono; i minatori lo sentono attraverso le masse di pietra; suono propagato da un lungo squidotto di ferro, da una trave, da un'asta di legno; come i marinai si servono di questa proprietà per iscoprire il luogo di rottura della nave, e un sordo per gustare i suoni; suono propagato pel terreno; strepito d'una battaglia sentito in tal modo; battute d'un orologio; maggiore distanza cui siasi sentito il suono; colpi di cannone a Genova ed a Mantova sentiti a grande distanza; distanza cui si sono sentiti alcuni suoni piuttosto pel suolo che per l'aria; formola per valutare la velocità del suono pei solidi; ordine con cui lo conducono alcuni legni e metalli §. 711. — I liquidi trasmettono il suono; sperienze che lo provano; altre sperienze per provare la distanza cui si propaga il suono pei liquidi; formola per valutare la velocità del suono pei liquidi; velocità per alcuni liquidi §. 712. — Tutti i corpi producono il suono; differenza fra vibrazione ed ondulazione §. 713. — Risuonanza in una corda di minugia; suoni consonanti che si producono col fondamentale; fenomeni di risuonanza analoghi: suoni longitudinali delle corde §. 714. — Suoni nelle verghe prismatiche e cilindriche; buonaccordo fatto colle medesime; vibrazioni longitudinali delle verghe; suono colle piastre e lastre rigide e colle membrane tese; figure di linee nodali su di esse e suoni che si hanno §. 715. — Suoni prodotti dai fluidi; suoni prodotti dall'aria negli strumenti da fiato, per una fessura, colla sirena, colla frusta; come essi riescono più regolari; differenza fra i solidi ed i fluidi nel moto vibratorio ed osservazioni su tale argomento §. 716. — Tuoni nei tubi e nelle canne; tuoni in tubi aperti, e in quelli chiusi da una parte: lunghezza dei tubi per atte-

Digitized by Google

nere un dato tuono §. 717. — Battimento §. 718. — Suoni prodotti dai liquidi §. 719. — Costruzione di parecchi stromenti da fiato: tonografo per imitare la degradazione dei suoni nella declamazione: richiami e trottola sonanti: armonica chimica: influenza della materia dei tubi sui suoni §. 720. — La risuonanza è un fenomeno generale: sperienza col coristo: importanza della cassa armonica: risuonanza con l'organo: rottura dei vetri e d'un bicchiere colla risuonanza: sperienza sulla risuonanza: importanza della risuonanza per l'orchestra dei teatri §. 721. — Organo dell'udito §. 722. — Organo della voce §. 723.

Conclusione della fisica dei corpi ponderabili . . . . . *Pag.* 615

Cenni sulla natura chimica dei corpi: sotto questo punto di vista i corpi sono in numero indefinito: corpi elementari: quali sono quelli più interessanti per la fisica §. 724.

Nozioni chimiche . . . . . » 616

L'aria si compone di due gas differenti: ovvii sperimenti che lo provano §. 725. — Sperienze più rigorose per determinare i rapporti dei componenti dell'aria: rapporti in volume ed in peso di gas ossigeno ed azoto nell'aria §. 726. — Componenti dell'acqua: sperienze: rapporti in volume ed in peso dei due gas idrogeno ed ossigeno nell'acqua §. 727. — Processi per estrarre l'ossigeno §. 728. — Proprietà dell'ossigeno: questo gas si unisce con molti corpi: maniere di preservarli dalla sua azione §. 729. — Proprietà dell'azoto: da quali corpi si ottiene: suo uffizio nell'aria: composti d'azoto §. 730. — Proprietà del gas idrogeno: corpi da cui si sviluppa: randela filosofica: gas tonante §. 731. — Gas solfidrico, è micidiale e combustibilissimo: si sviluppa coi solfuri anche sotto terra: gas idrogeno perfosforato e protofosforato: loro proprietà: sperienza col primo che si accende all'aria: gas illuminante §. 732. — Gas acido carbonico: quali corpi lo contengono: come si ricava: proprietà; è nocivo alla vita §. 733. — Cloro ed acido cloridrico; maniera di ricavare il cloro; proprietà differenti del medesimo §. 734.

FINE DEL TOMO PRIMO.

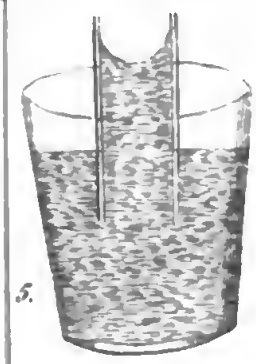
607767

È massima generale che il libro più corretto è quello il cui errata-corrige è il più esteso, *perchè dimostra almeno nell'autore, anche dopo la stampa, la diligenza usata onde rendere il suo lavoro, per quanto è possibile, scevro di quei difetti che possono alterare od offuscare i suoi pensieri e i suoi dettati. È all'appoggio di tale massima, che si è compilato il presente* errata-corrige.

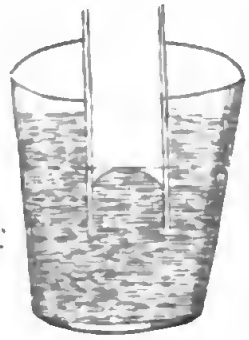
			ERRORI.	EMENDAZIONI.
Pag.	24	*linea* 14	1000	10000
»	31	*nella nota*	T. I	T. IX
»	34	*linea* 31	corcote	correota
»	102	» 1	(§. 9)	(§. 8)
»	113	» 3	idrogene	idrogeno
»	ici	» 13	compone	comprime
»	121	» *ultima*	(§. 34)	(§. 32)
»	142	*nel quadro 2a colonna*	129,0	29,0
»	183	*linea* 25	in alto S.	in alto?
»	193	» 28	$\cos = \alpha - 1$	$\cos_2 = -1$
»	278	» 6	$\frac{N^2L}{900}$	$\frac{N^2L}{810000}$
»	298	» 34	*bcmn*	*ABmn*
»	303	» 23	L'adesione	La coesione
»	315	» 35	xab^2	n^2ab
»	316	» 1	peso R	peso Q
»	317	» 13	$nP+M$	$np+M$
»	319	» 7	braccio *hg*	braccio *hr*
»	328	» 9	rocchetto BD	rocchetto CD
»	342	» 27	o sul prolungamento	e sul prolungamento
»	343	» 1	descritta, e si unisca	descritta. Ciò posto, si conduca dal centro di C una tangente a quella circonferenza, e si unisca
»	ivi	» 23.	$r = \frac{{}^2MV = 0}{\alpha'}$	$r = \frac{2MV}{\alpha} = o$
»	343	» 35	angolo, che sono	angolo retto, che sono
»	346	» 12	quadrilatero	rettangolo
»	352	» 16	fra i denti della molla	fra i denti dalla molla
»	351	» 23	distanza dell'asse	distanza dall'asse
»	383	» 33	la pressione di 100	la pressione di 400
»	385	» 13	cui si giunga	cui giunge
»	410	» 31	risulterà $q-q'$	risulterà $q'-q$
»	417	» 26	cosparsa la superficie	cosparsa la superficie
»	420	» 21	curva *dfe*	curva *dfc*

				ERRORI.	EMENDAZIONI.
»	434	»	30	sul disco della parte	sul disco dalla parte
»	443	»	23	della spinta	dalla spinta
»	ivi	»	29	del livello	dal livello
»	467	»	13	tubo di Pascal	tubo di Roberval
»	480	»	8	$\frac{1}{213}$	$\frac{1}{216}$
»	523	»	8	di millim. 9,35, talchè	di millim. 9,35 di mercurio o mill. 127 d'acqua; talchè
»	ivi	»	10	9,148+0,00935, ossia di metri 9,15735	9,148+0,127 ossia di metri 9,275
»	537	»	5	$x=\frac{aD}{q}$	$x=\frac{Da}{d}$
»	541	»	13	l'acqua in a	l'acqua in c
»	543	»	28	la canna af	la canna ef
»	549	»	23	Nel trattarsi	Nel trattare
»	556	»	10	dell'equazione	dall'equazione
»	568	»	11	verso AB	verso AD
»	600	»	6	comprobabilità	compressibilità
»	605	»	4	$do=\frac{-3}{8}$	$do=\frac{-5}{4}$

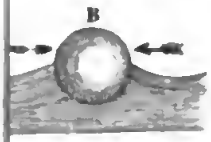
Digitized by Google

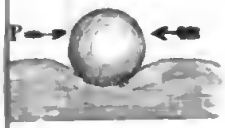


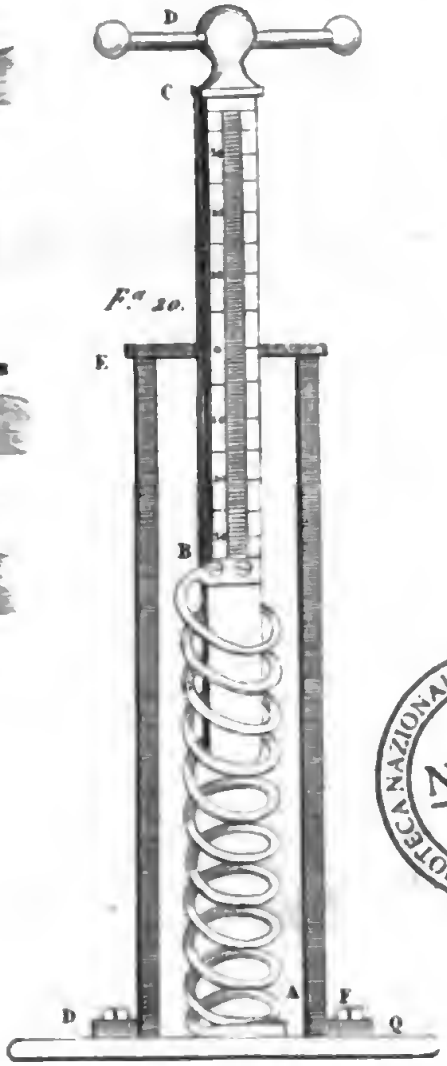
5.



F.a 6.



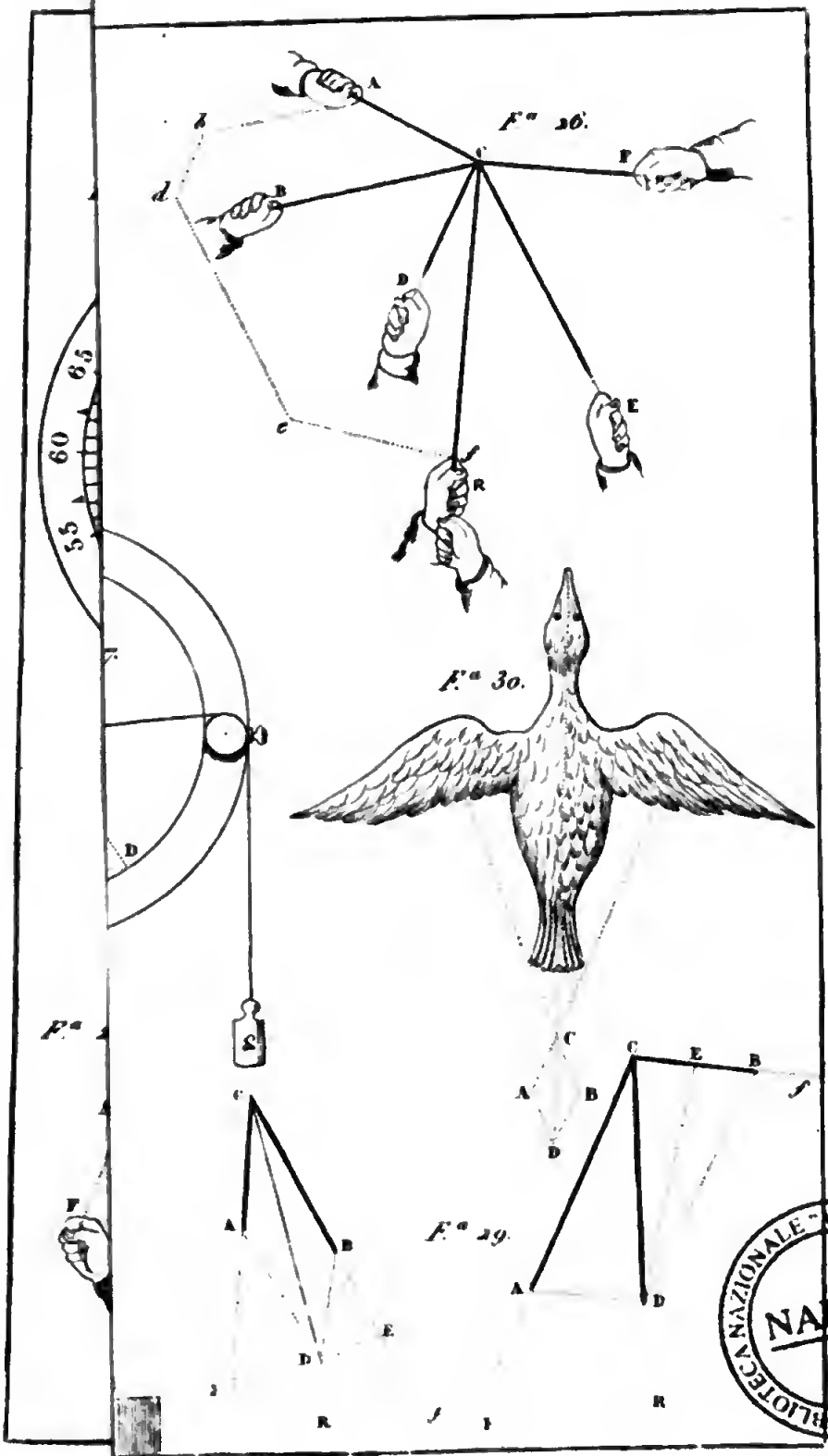




F.a 20.

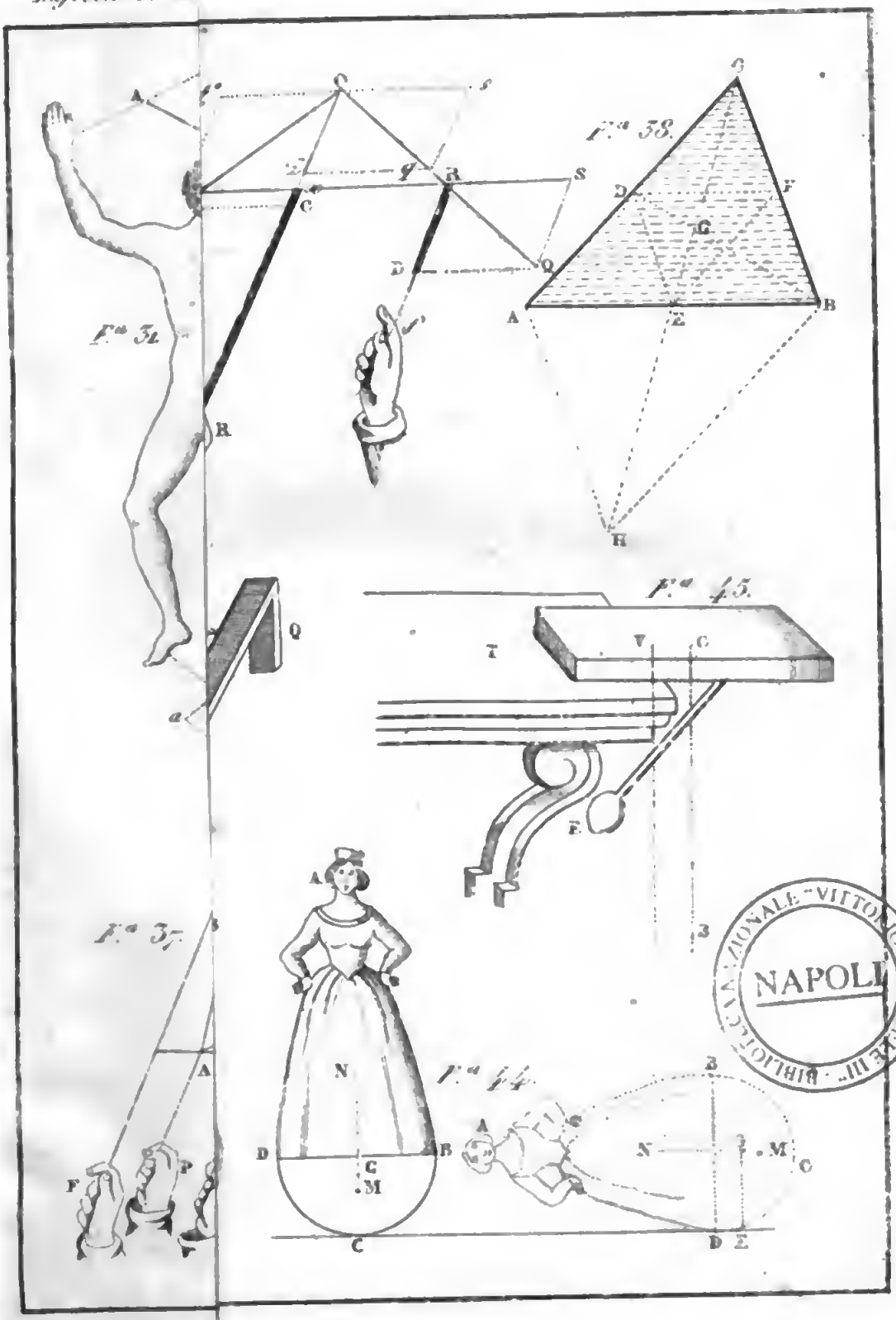
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google



BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

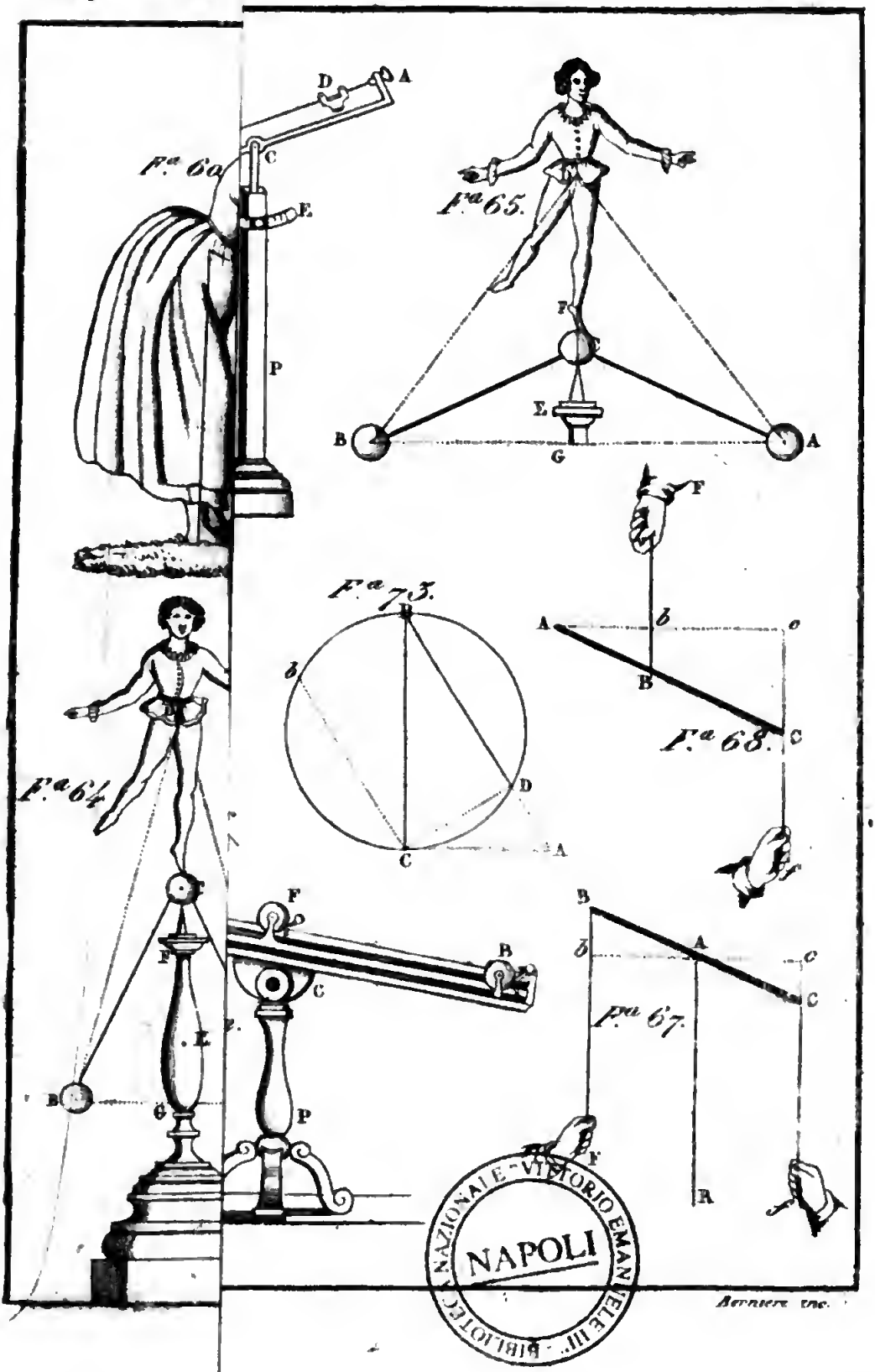
Digitized by Google



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google

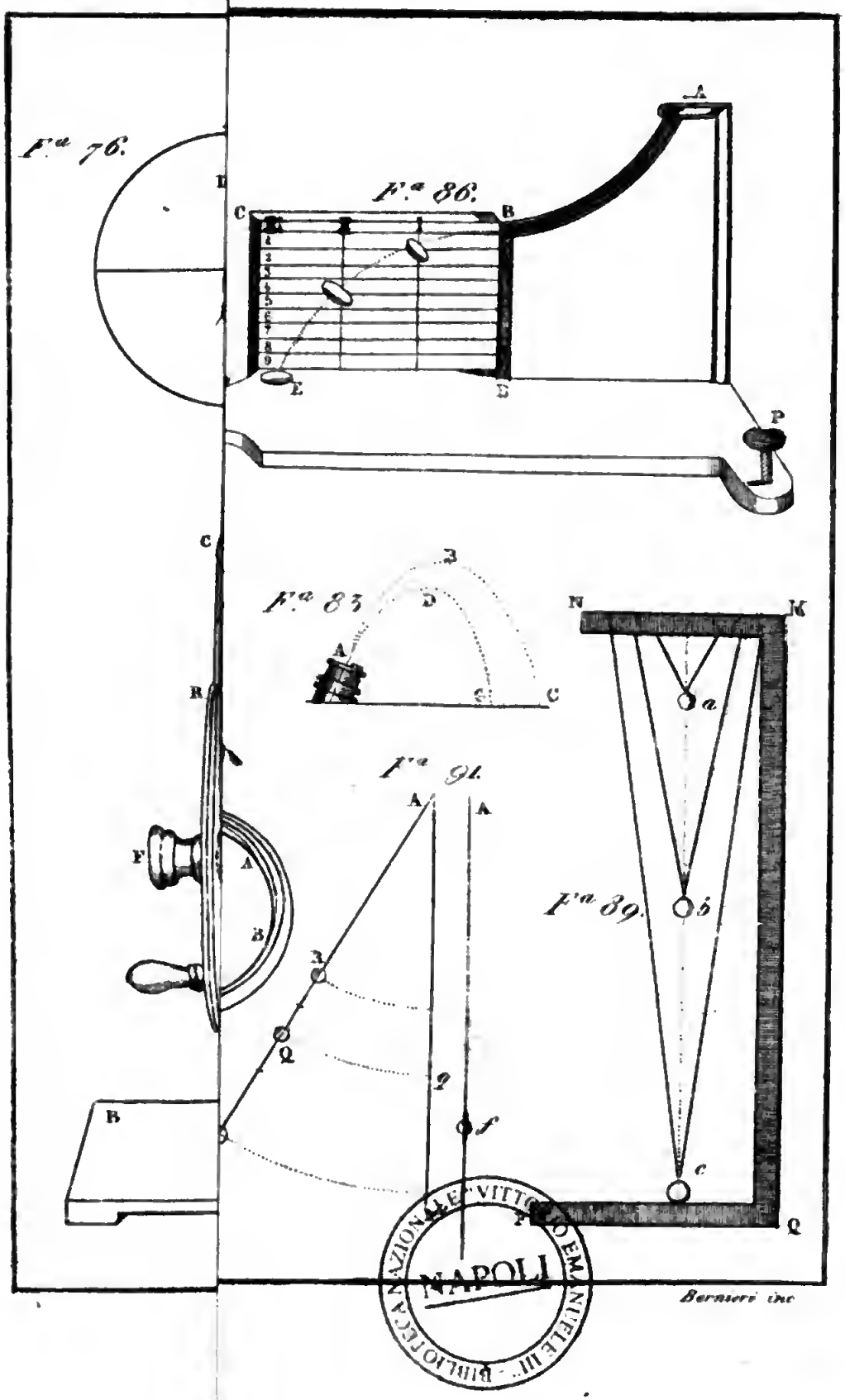
Digitized by Google



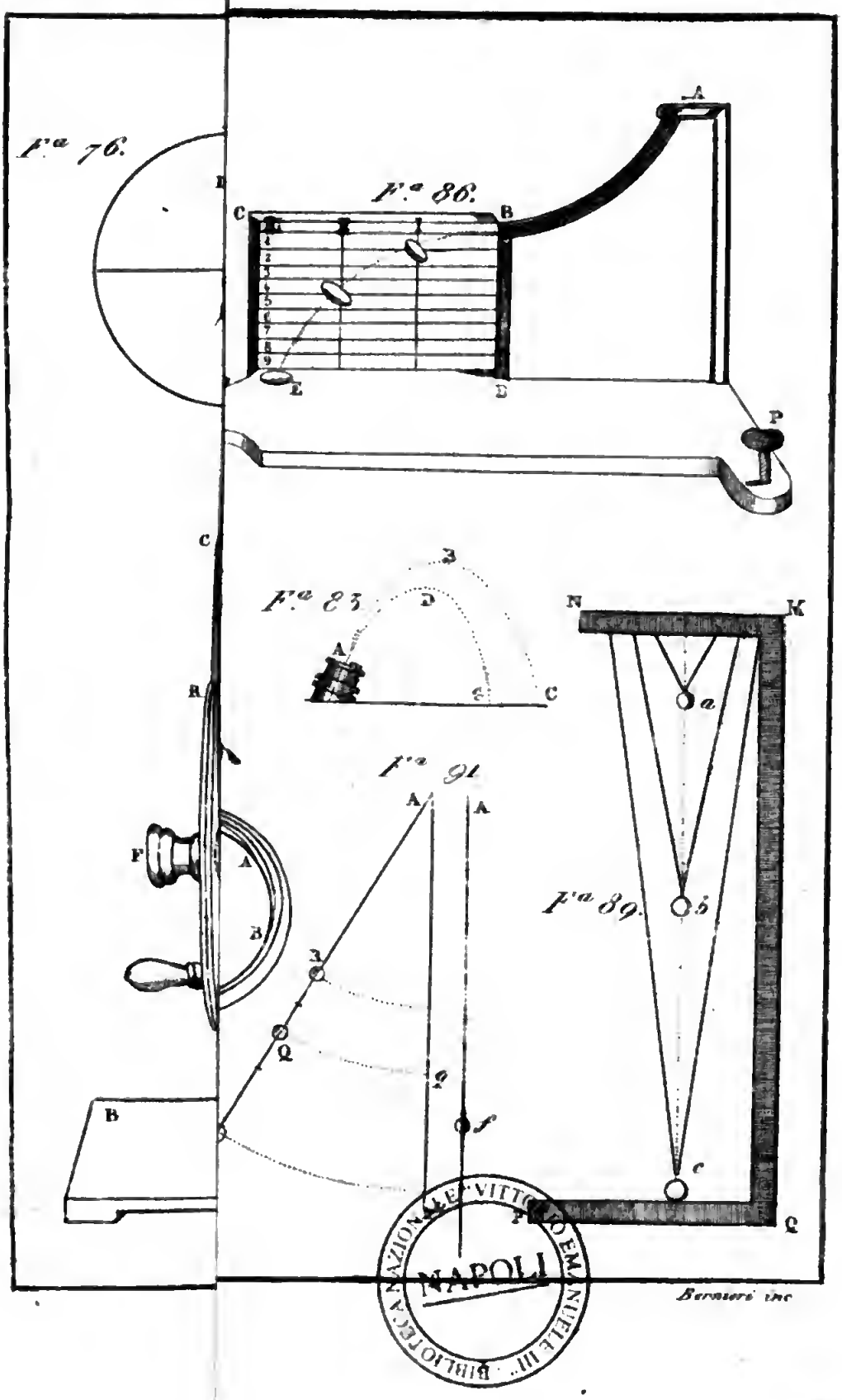
BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

Aquiera inc.

Digitized by Google

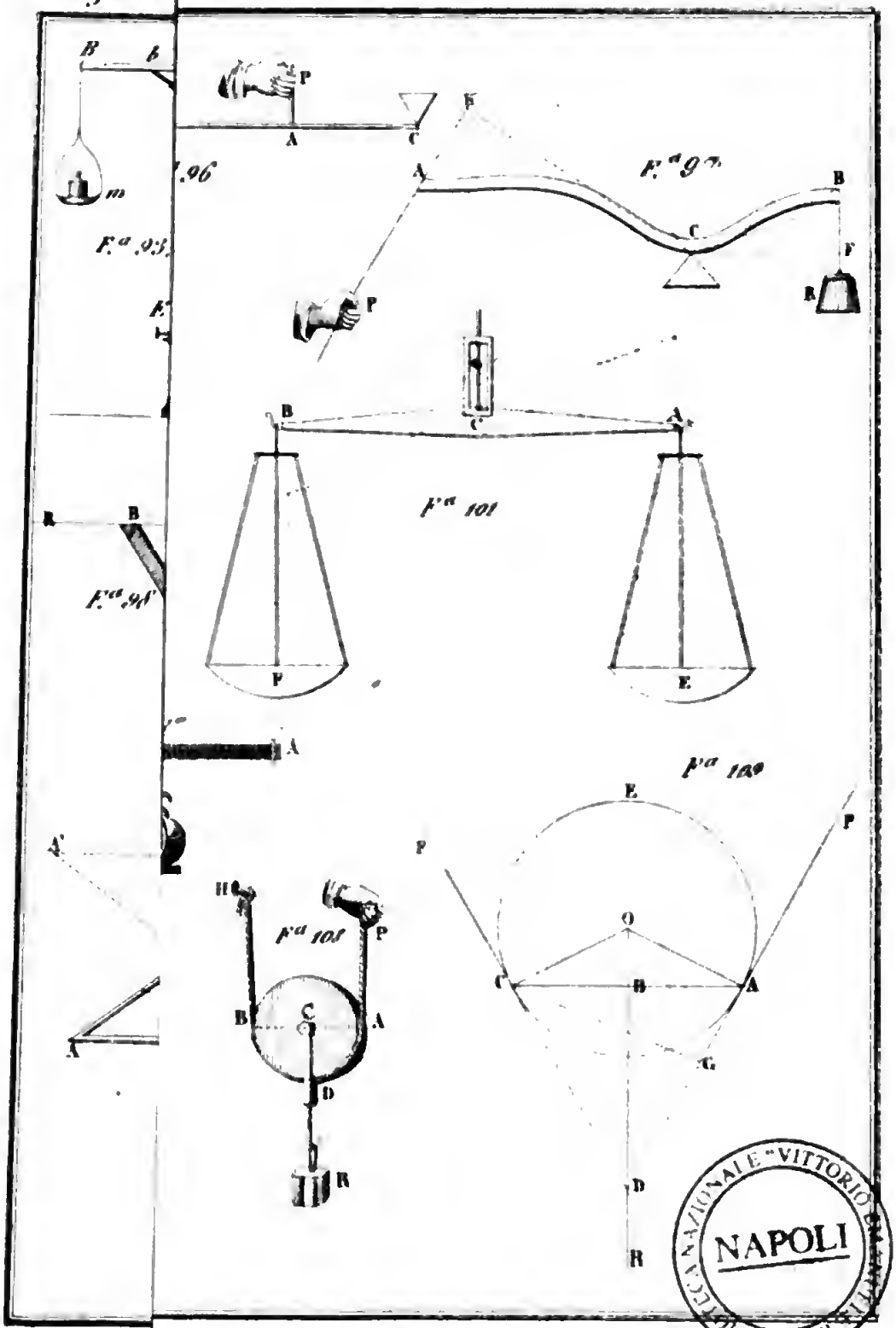

F.a 76.
F.a 86.
F.a 83.
F.a 91.
F.a 89.
A
B
C
D
E
P
N
K
Q
a
b
c
f
g
NAPOLI
Bernieri inc

Digitized by Google

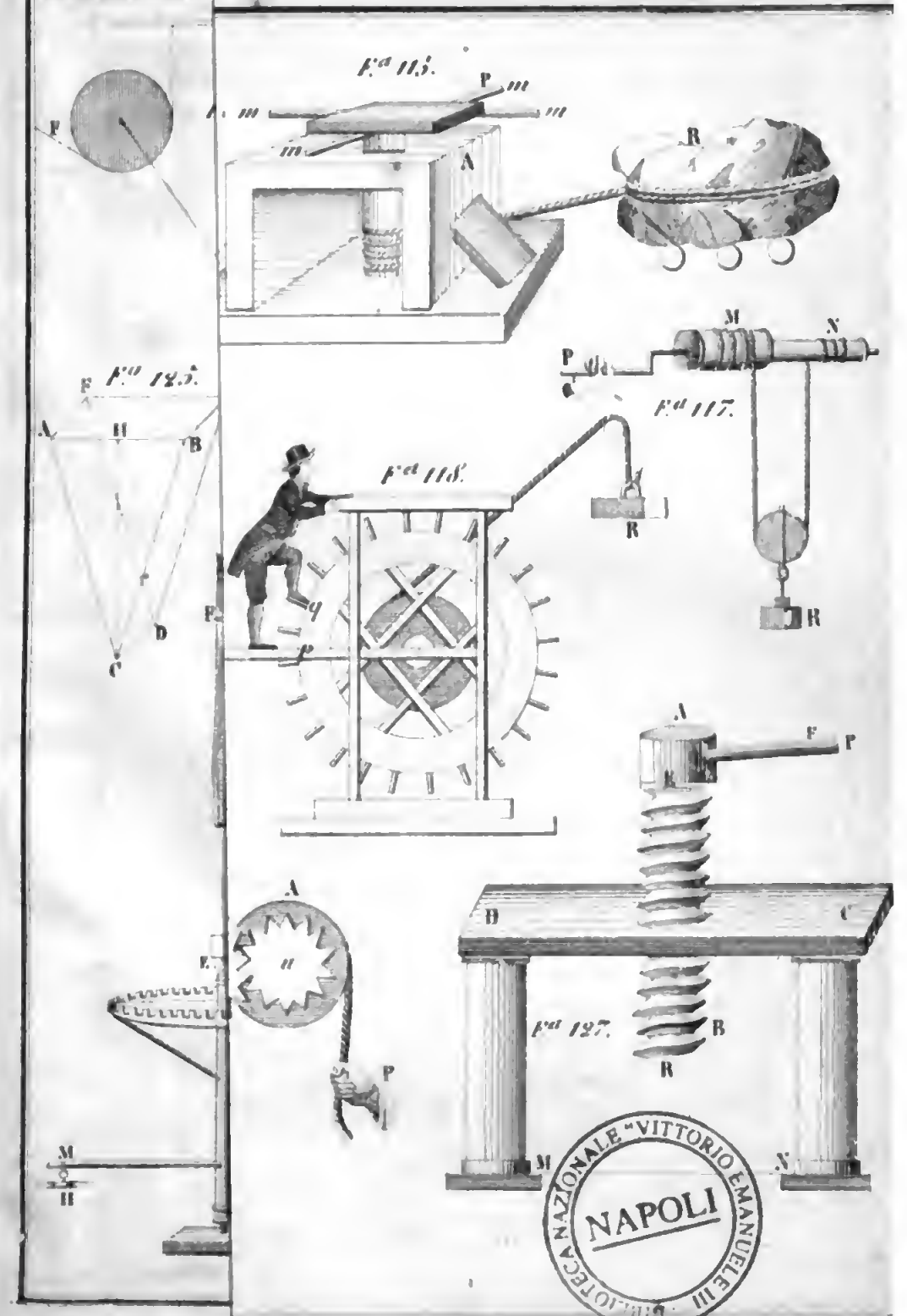


BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

Digitized by Google

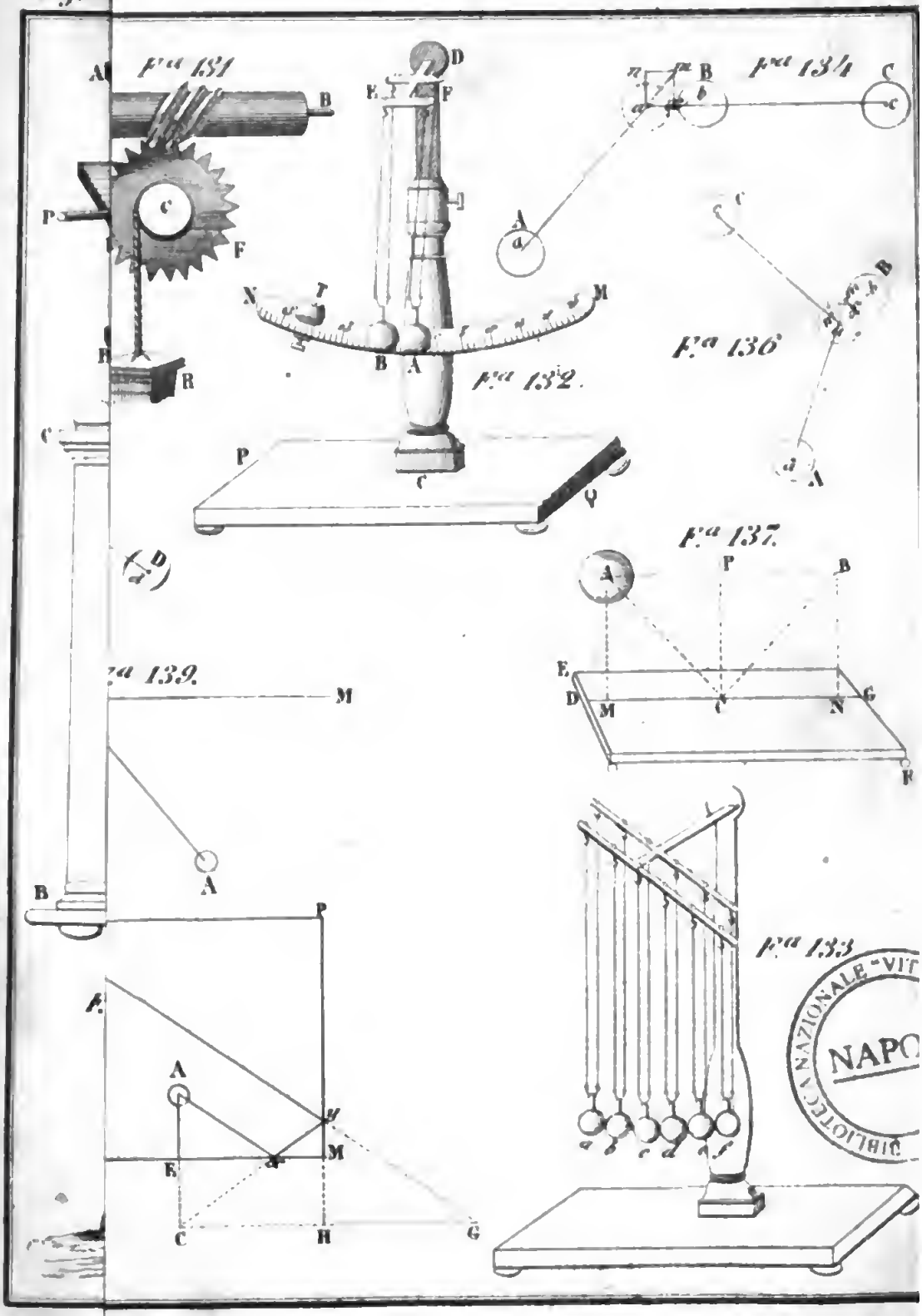


BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI



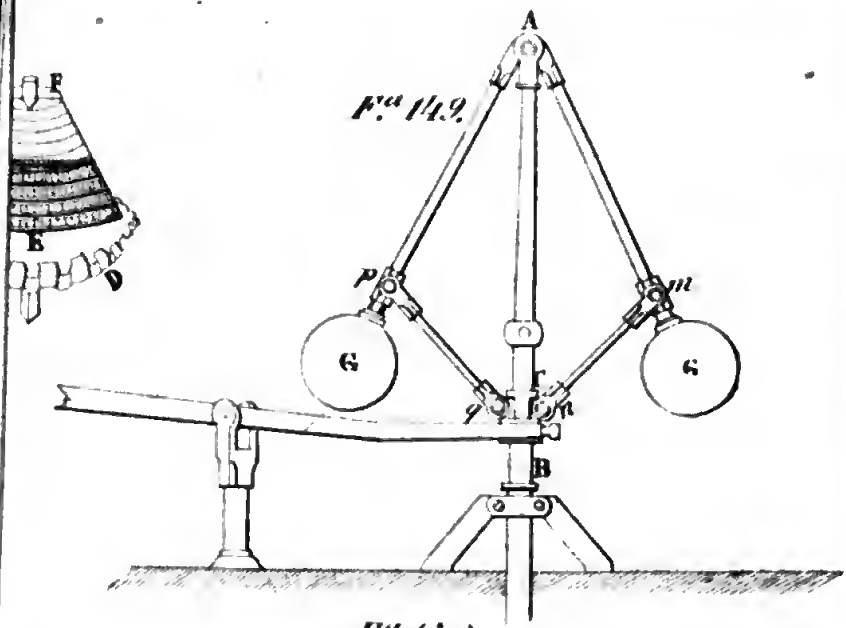
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III"
NAPOLI

Digitized by Google

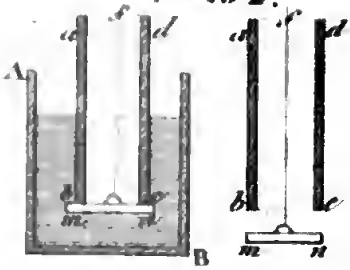


BIBLIOTECA NAZIONALE "VIT
NAPO

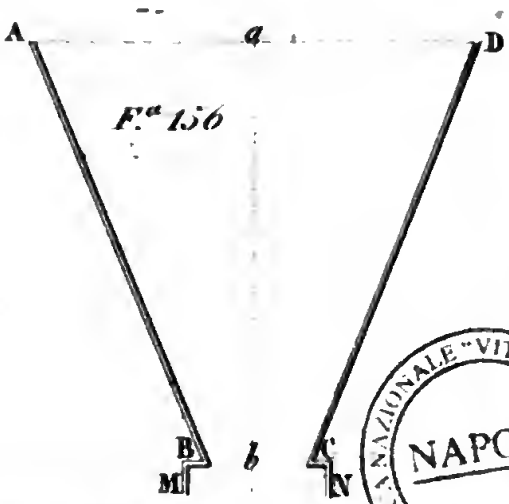
Digitized by Google



F.a 149.



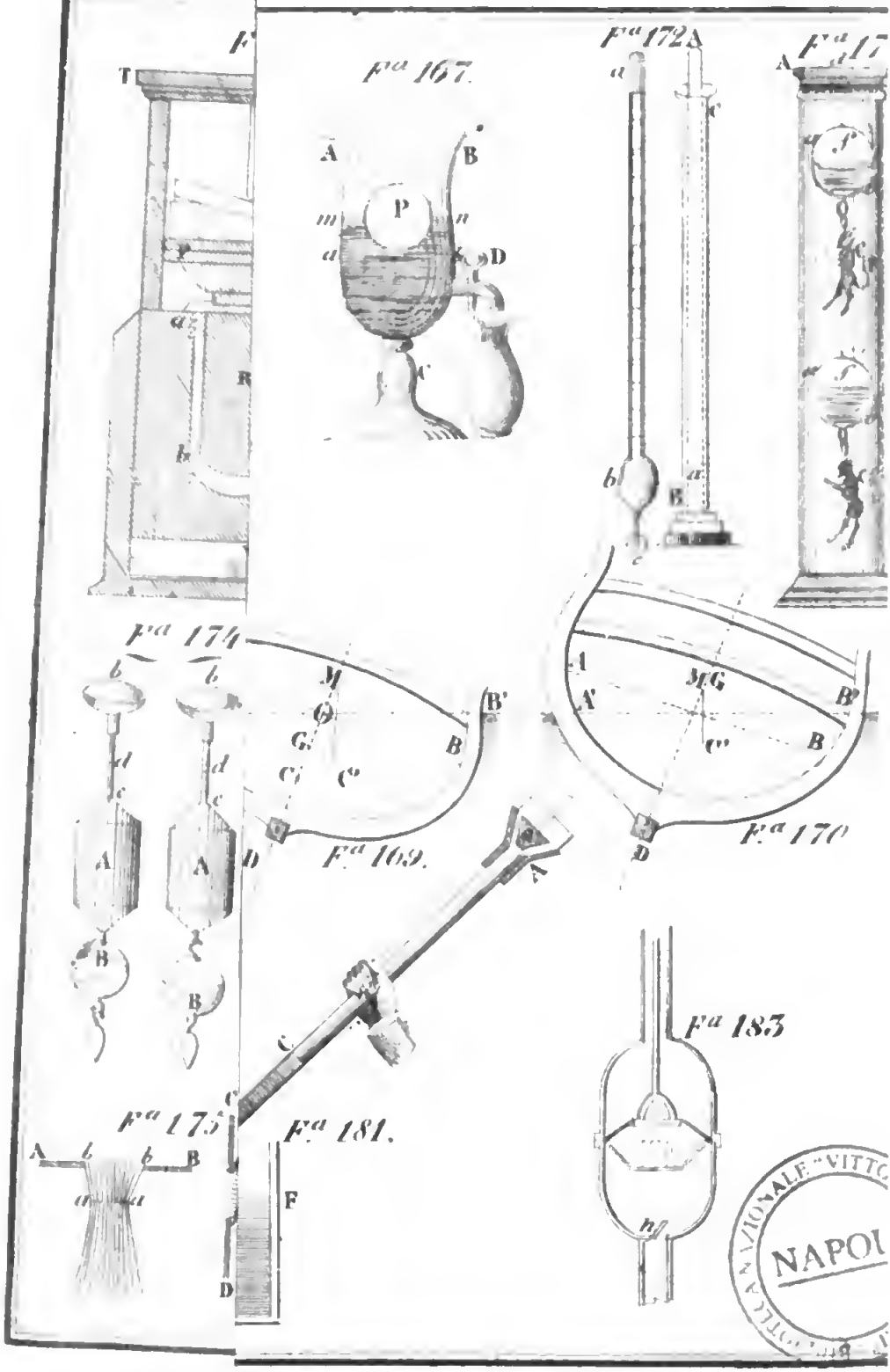
F.a 152.



F.a 156

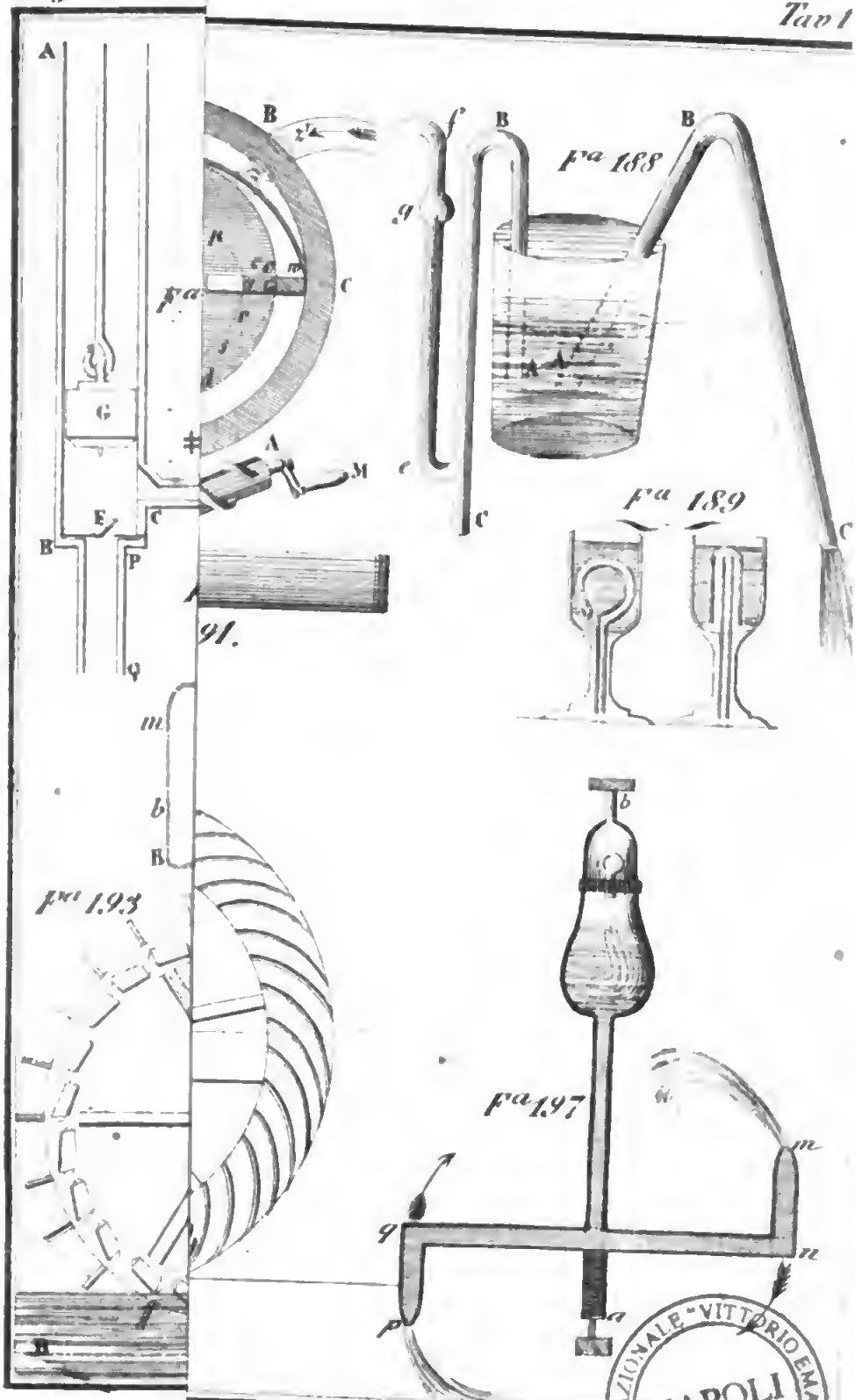
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google



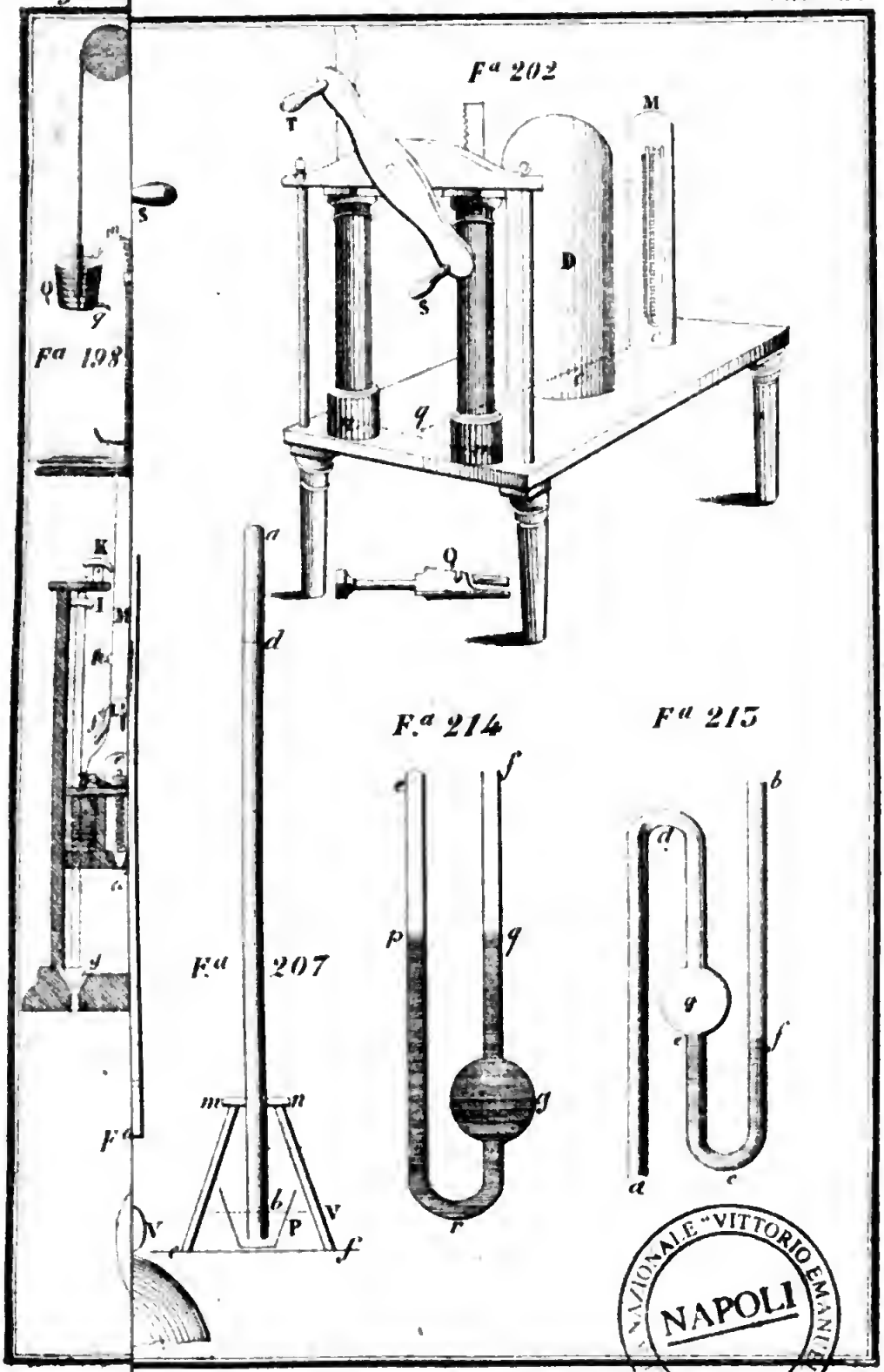
NAPOL

Digitized by Google



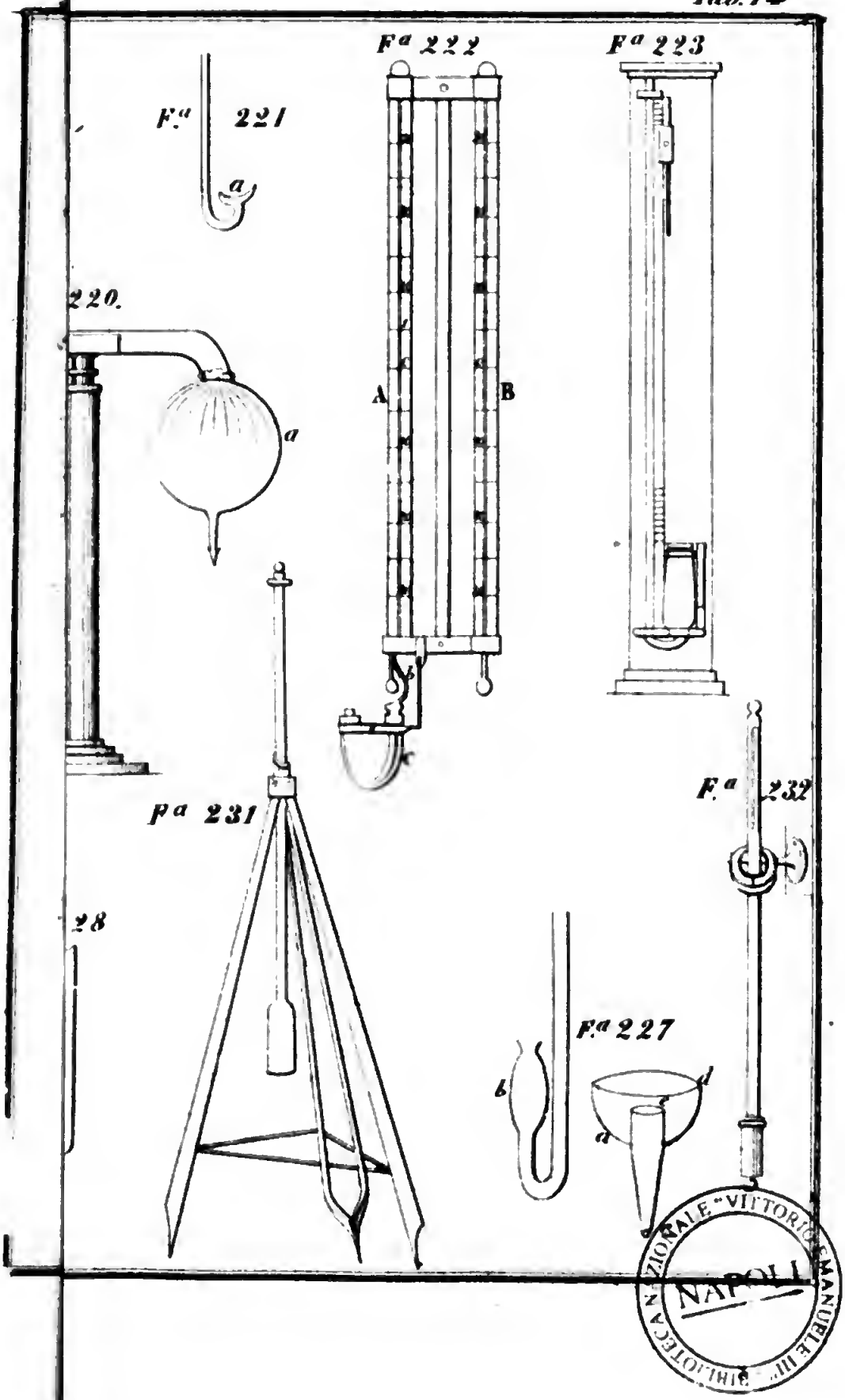
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google



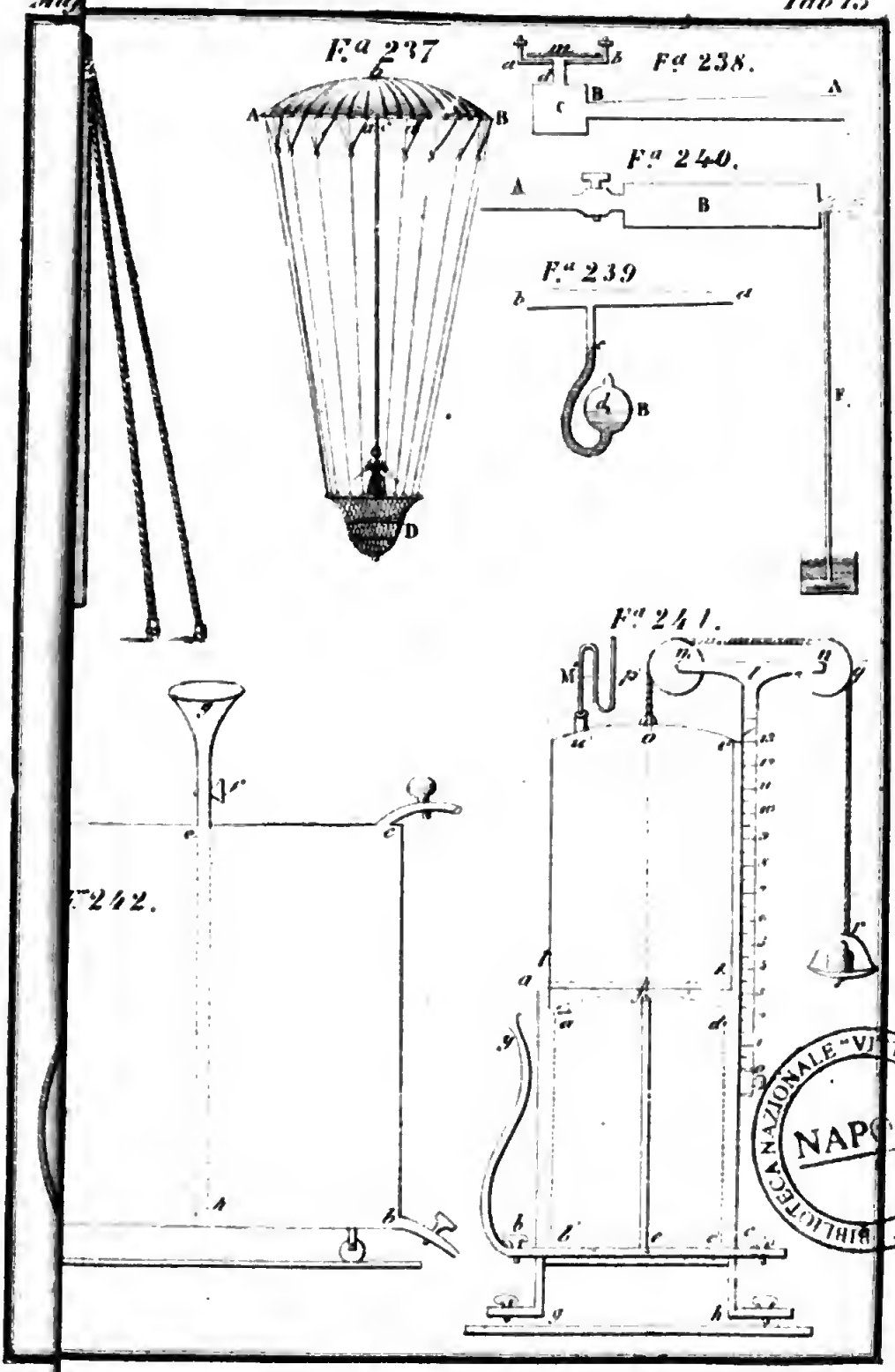
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google

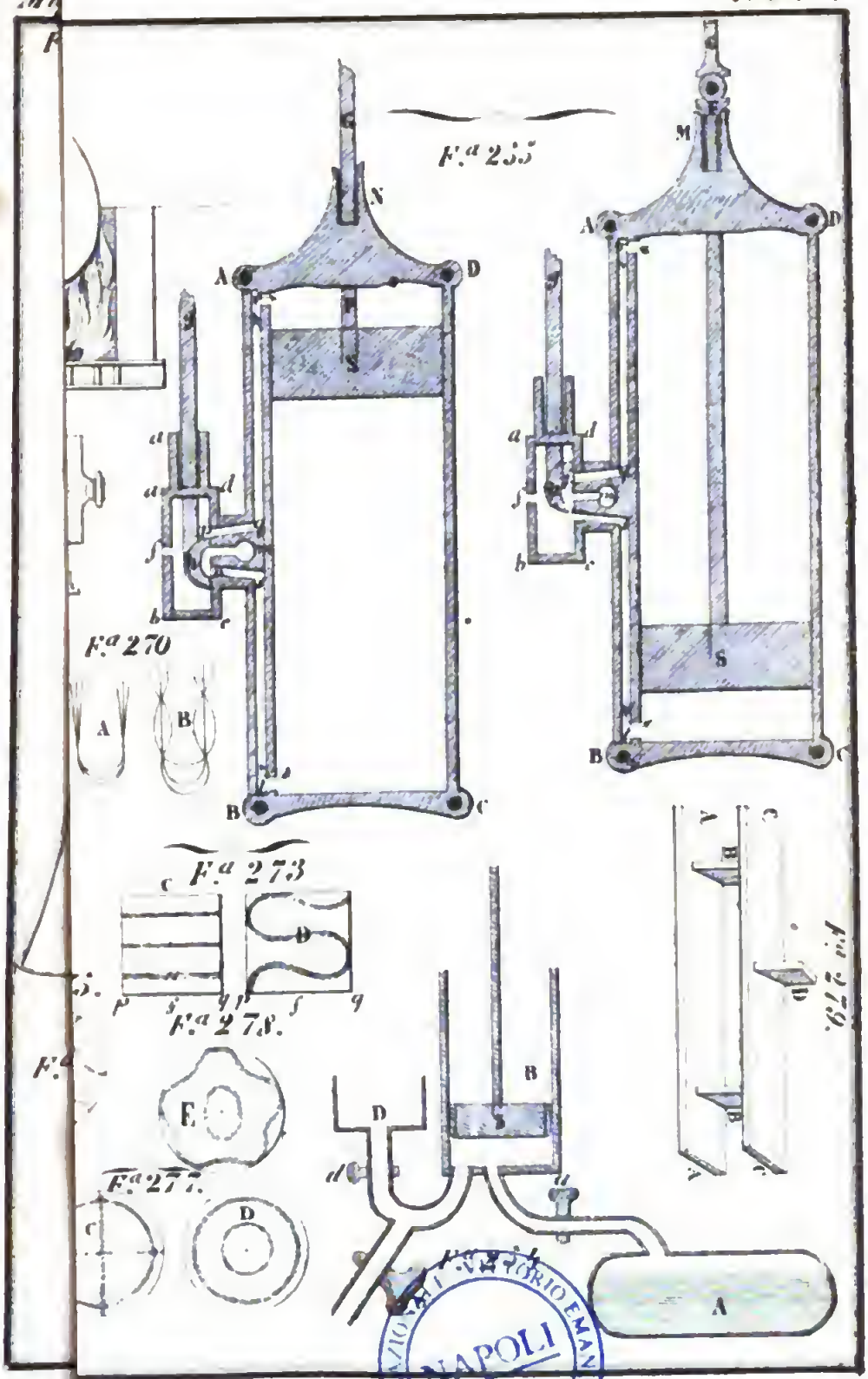


BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Digitized by Google


F.a 237
F.a 238.
F.a 240.
F.a 239
F.a 241.
F.a 242.
A
B
C
D
F.
M
NAPOLI
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III"

Digitized by Google



BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

Digitized by Google

Google

Digitized by Google

Digitized by Google